

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                             |
|--------|---------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                  |
| 课    题 | 机床夹具                                        |
| 教    者 | 黄    曙                                      |
| 教案序号   | 第    1    教案                                |
| 教学目的   | 1、机床夹具的分类<br>2、机床夹具的组成<br>3、机床夹具的作用         |
| 重点难点   | 1、通用夹具，专用夹具<br>2、定位装置，夹紧装置，夹具体<br>3、机床夹具的作用 |
| 作    业 | 1、P151.1<br>2、P151.2                        |
| 复    习 |                                             |
| 导    入 |                                             |
| 后    记 | 参观实训工场夹具                                    |

## 第五章 机床夹具

### 第一节 概 述

工人在机床上对工件进行切削加工时，为了保证加工精度，必须使工件相对于机床和刀具占有正确的位置，这一过程称为定位。为了保持这个正确位置在加工过程中稳定不变，就必须对工件施加一定的夹紧力，这一过程称为夹紧。这两个过程总称为安装。在机床上能实现装夹任务的工艺装备，就叫机床夹具。

在现代生产中，机床夹具是一种不可缺少的工艺装备，它直接影响着加工的精度、劳动的效率和产品的成本等，为此，机床夹具应满足以下基本要求：保证工件或刀具能准确、迅速、可靠地定位和夹紧；保证工件或刀具拆卸方便、快捷，其结构应简单，并有足够的刚度和精度，以防止工件变形和振动，且操作应安全省力。

#### 一、机床夹具的分类

机床夹具按所使用的机床可分为：车床夹具、铣床夹具、钻床夹具、镗床夹具和磨床夹具等。机床夹具按其通用特性则可分为：通用夹具、专用夹具、可调夹具、组合夹具和生产线夹具等，它主要反映夹具在不同生产类型中的特性，故也是选择夹具的主要依据。

##### 1. 通用夹具

通用夹具是指结构、尺寸已标准化的，在一定范围内可用于加工不同工件的夹具。如三爪自定心卡盘、四爪单动卡盘、顶尖、回转工作台、万能分度头、台虎钳、跟刀架、中心架、电磁吸盘等。它们共同的特点是适应性强，不需调整或稍加调整就可以装夹一定形状和尺寸范围内的多种工件。这类夹具都由专业厂家生产，作为机床附件供给用户。但其加工精度不高，生产率也较低，且较难装夹形状复杂的工件，主要适用于单件小批生产。

##### 2. 专用夹具

专用夹具是针对某一工件的某道工序的加工要求而专门设计和制造的夹具。其特点是结构紧凑，操作迅速方便，针对性极强，没有通用性。在产品相对稳定、批量较大的生产中，常用各种专用夹具，可以获得较高的生产率和加工精度。专用夹具的设计和制造周期较长，随着现代多品种、中小批生产的发展，专用夹具的适应性和经济性等方面已出现许多弊端。

##### 3. 可调夹具

可调夹具是根据不同类型、不同尺寸的工件，调整或更换个别定位元件和夹紧元件而形成的专用夹具。它通常又可分为通用可调夹具和成组夹具两种。前者的通用范围比通用夹具更大；后者则是一种专用可调夹具，它是根据成组技术设计用于装夹一族相似的工件，故在多品种，中小批生产中使用经济性比较好。

##### 4. 组合夹具

组合夹具是根据某一工件的某道工序的加工要求，由一套预先制造好的标准元件和部件组装而成的专用夹具。这种夹具用完之后可以拆卸存放，或供重新组装新夹具时使用。由于组合夹具具有生产准备周期短，元件能多次重复使用，组装迅速

等优点，所以在单件、中小批生产和数控加工中应用比较多。

#### 5. 生产线夹具

生产线夹具一般分为两种：一种是固定式夹具，它与一般专用夹具相似；另一种是随行夹具，它除装夹工件外，并随自动生产线一起移动，即把工件从一个工位传递到下一个工位。

### 二、机床夹具的组成

尽管机床夹具的类型和结构较多，但其工作原理基本上是一致的。为此，我们可以把各类夹具中的装置元件或机构，按其功能相同的原则归类，从而归纳出夹具的几个主要组成部分：

#### 1. 定位装置

定位装置用于确定工件在夹具中的正确位置。其常用的定位元件有支承钉、支承板、V形块、定位销等。当工件定位基准面的形状确定后，定位装置的结构也就基本确定了。

#### 2. 夹紧装置

夹紧装置用于夹紧工件，使工件在受到外力作用时，仍能保持其正确的位置。夹紧装置的结构会影响到夹具的性能和复杂程度。它通常是一种机构，包括夹紧元件(如夹爪、压板等)，增力和传动装置(如杠杆、螺纹传动副、凸轮等)以及动力装置(如气缸、油缸)等。

#### 3. 夹具体

夹具体用于连接夹具上的各种元件和装置，使之成为一个整体，并与机床的有关部位连接，以确定夹具相对机床的正确位置。

#### 4. 对刀及引导元件

对刀元件或引导元件用于确定或引导刀具使其与夹具有一个正确的相对位置，如对刀块、钻套、镗套等。

#### 5. 其他元件及装置

其他元件和装置有定向件、操作件以及根据夹具特殊功能需要而设置的一些装置，如分度装置、工件顶出装置、上下料装置等。

某一种机床夹具并非上述每一个部分都缺一不可，但其中的定位装置、夹紧装置和夹具体，则是构成机床夹具最主要的组成部分。

### 三、机床夹具的作用

在机械加工过程中，使用机床夹具的目的主要有以下五个方面，但在不同的生产条件下，应该有不同的侧重点。

#### 1. 保证加工精度

用夹具装夹工件后，工件在加工中的正确位置就由夹具来保证，不会受工人操作习惯和技术差别等因素的影响，每一批零件基本上都能达到相同的精度，使产品质量稳定。

#### 2. 提高生产效率

采用机床夹具后，能使工件迅速地定位和夹紧，既可以提高工件加工时的刚度，

有利于选用较大的切削用量，又可以省去划线找正等辅助工作，因而提高了劳动生产率。

### 3. 改善劳动条件

用夹具装夹工件方便、省力、安全，降低了对工人的技术要求。当采用气动或液动等夹紧装置后，可以减轻工人的劳动强度，保证生产安全。

### 4. 扩大工艺范围

在单件小批生产时，零件品种多而数量少，又不可能为了满足所有的加工要求而购置相应的机床，采用夹具就可以扩大机床的加工范围。如在车床上安装镗孔夹具后，就可以进行箱体的孔系加工；安装磨头后，就可以进行磨削加工等。采用夹具是在生产条件有限的企业中，常用的一种技术改造措施。

### 5. 降低生产成本

在成批生产中使用夹具时，由于生产效率的提高和对工人技术要求的降低，故可明显地降低生产成本，批量越大，生产成本降低就越显著。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                              |
|--------|----------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                   |
| 课    题 | 工件的定位                                        |
| 教    者 | 黄    曙                                       |
| 教案序号   | 第    2    教案                                 |
| 教学目的   | 1、工件的定位原理<br>2、定位和夹紧的区别与联系<br>3、             |
| 重点难点   | 1、六点定位基本原理<br>2、定位和夹紧的区别与联系<br>3、典型单一定位形态的特点 |
| 作    业 | 1、P151.4<br>2、P151.5<br>3、P151.7<br>4、P151.9 |
| 复    习 |                                              |
| 导    入 |                                              |
| 后    记 | 课堂问答：<br>1、P151.6<br>2、P151.8                |

## 第二节 工件的定位

工件在夹具中的定位，对保证加工精度起着决定性的作用。工件在加工之前，必须首先使它相对于机床和刀具占有正确的加工位置，这就是工件的定位。在使用夹具的情况下，就要使机床、刀具、夹具和工件之间保持正确的加工位置。显然，工件的定位是其中极为重要的一个环节。

工件在夹具中定位的目的就是使同一批工件在夹具中占有一致的正确的加工位置。为此，必须选择和设计合理的定位方法及相应的定位元件或定位装置，同时，要保证有一定的定位精度。

### 一、工件的定位原理

#### 1. 六点定位原理

工件定位的实质，就是要使工件在夹具中占有一个确定的位置。这一确定的位置可以通过定位支承限制相应的自由度来获得。一个尚未定位的工件，其空间位置是不确定的。如图 5—1 所示，在空间直角坐标系中，工件可沿 X、Y、Z 三个互相垂直的坐标轴移动，还可以绕 X、Y、Z 三个互相垂直的坐标

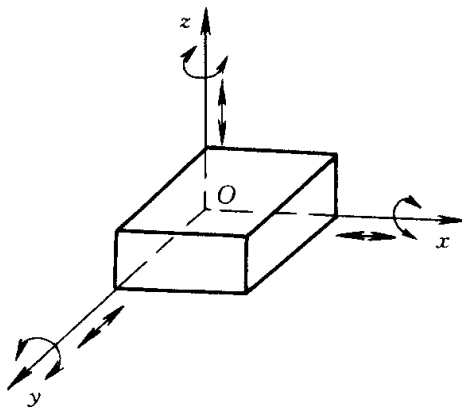


图 5—1 工件的六个自由度

轴转动，它们分别用 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{z}$ 和 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 、 $\hat{z}$ 来表示。这种工件位置的不确定性，称为自由度。定位的任务就是要消除工件的自由度。如图 5—2 所示，用相当于六个支承点的定位元件与工件的定位基面接触来限制。此时，

在 xoy 平面内，用三个支承点限制了 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{z}$ 三个自由度；在 yOz 平面内，用两个支承点限制了 $\bar{x}$ 、 $\bar{z}$ 两个自由度；在 zox 平面内，用一个支承点限制了 $\bar{y}$ 一个自由度。

用六个合理分布的支承点，就能限制工件的六个自由度，这就是六点定位原理。

在图 5—2 中，工件的 A 面与三个支承点接触，限制了三个自由度，称为主要定位基准。显然，三个支承点之间的面积越大，支承工件就越稳定，工件的表面越平整，定位就越可靠。所以，在满足加工表面位置精度的前提下，一般应选择工件上大而平整的表面作为主要定位基准。工件的 B 面与两个支承点接触，限制了两个自由度，称为导向定位基准。工件的 C 面与一个支承点接触，限制了一个自由度，称为止推定位基准。

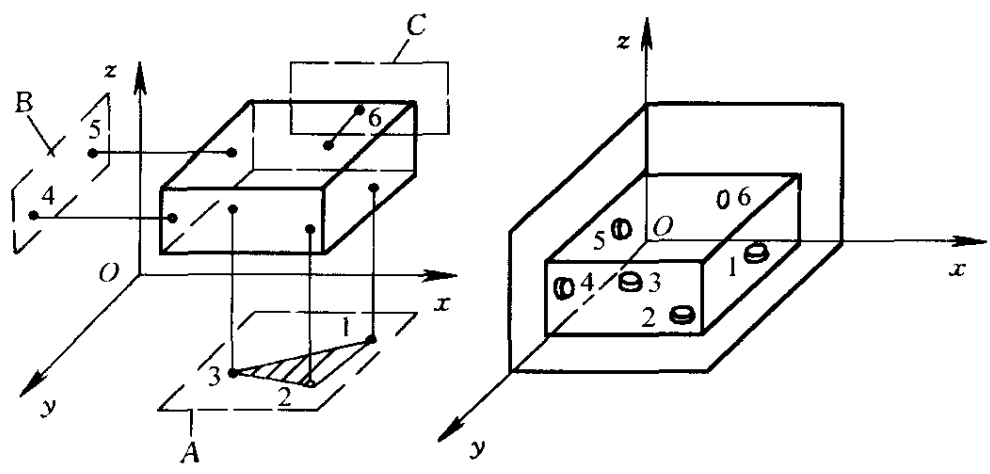


图 5—2 平面几何体的定位

在机械加工过程中，定位和夹紧是两个不同的概念。定位是使工件在机床或夹具中占据一个正确的位置，而夹紧是使工件的这一正确位置在加工过程中保持不变。所以，夹紧是不能代替定位的。也就是说，认为“工件被夹紧了，它的自由度也就被限制了”这一概念是错误的。

2. 应用六点定位原理应注意的问题

(1) 正确的定位形式正确的定位形式就是在满足加工要求的情况下，适当地限制工件的自由度数。如图 5—3 所示，要加工压板上的导向槽，由于要求槽深方向的尺寸  $A_2$ ，故要限制自由度 $\hat{z}$ ；由于要求保证槽长度方向的尺寸  $A_1$ ，故要限制自由度 $\hat{x}$ ；由于要求槽底面与 C 面平行，故要限制自由度 $\hat{x}$ 和 $\hat{y}$ ；由于要求导向槽应在压板的中心，并与长圆孔的轴线方向一致，故要限制自由度 $\hat{y}$ 和 $\hat{z}$ 。可见，压板在加工导向槽时，六个自由度都被限制了。这种定位称为完全定位。如果要在平面磨床上磨削压板的上表面，加工要求保证板厚尺寸 B，并与 c 面平行。这时，只要限制自由度 $\hat{z}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 就可以了。这种根据零加工要求，限制部分自由度的定位，称为对应定位(也称不完全定位)。

表 5—1 典型单一定位形态的特点

| 定位接触形态 | 限制自由度数 | 自由度类别        | 特    点                |
|--------|--------|--------------|-----------------------|
| 长圆锥面接触 | 5      | 三个移动<br>两个转动 | 可作主要定位基准              |
| 长圆柱面接触 | 4      | 两个移动<br>两个转动 |                       |
| 大平面接触  | 3      | 一个移动<br>两个转动 |                       |
| 短圆柱面接触 | 2      | 两个移动         | 不可作主要定位基准，但可与主要基准组合定位 |
| 线接触    | 2      | 一个移动<br>一个转动 |                       |
| 点接触    | 1      | 一个移动或转动      |                       |

(2) 明确定位支承点所限制的自由度数通常可以按定位接触处的形态确定所限制的自由度数，其特点见表 5—1。

(3) 防止产生欠定位 根据零件的加工要求，而未能满足应该限制的自由度数目时，称为欠定位。如图 5—3 中加工压板的导向槽时，减少限制任何一个自由度都是欠定位。欠定位是不允许的，因为工件在欠定位的情况下，将不可能保证加工精度的要求。

(4) 正确处理过定位如果工件的同一个自由度被多于一个的定位元件来限制，称为过定位(也称重复定位)。图 5—4 所示为一零件的 $\bar{x}$ 自由度有左右两个支承限制，这就产生了过定位，工件有放不下去的可能。如图 5—5 所示为齿轮毛坯的定位，其中图 5—5a 是短销大平面定位，短销限制自由度 $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ ，大平面限制自由度 $\bar{z}$ 、 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ ，无过定位。图 5—5b 是长销、小平面定位，长销限制自由度 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ ，小平面对限制自由度 $\bar{z}$ ，也无过定位。图 5—5c 是长销、大平面定位，长销限制自由度 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ ，大平面限制自由度 $\bar{z}$ 、 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ ，这里的自由度 $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ 同时被两个定位元件限制，所以产生了过定位。

过定位一般是不允许的，因为它可能产生破坏定位、工件不能装入(图 5—4)、

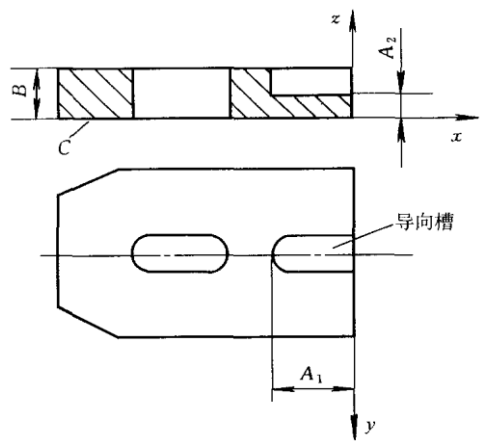


图 5—3 零件定位分析

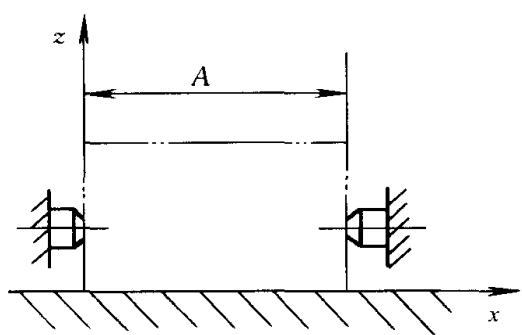


图 5—4 过定位示例

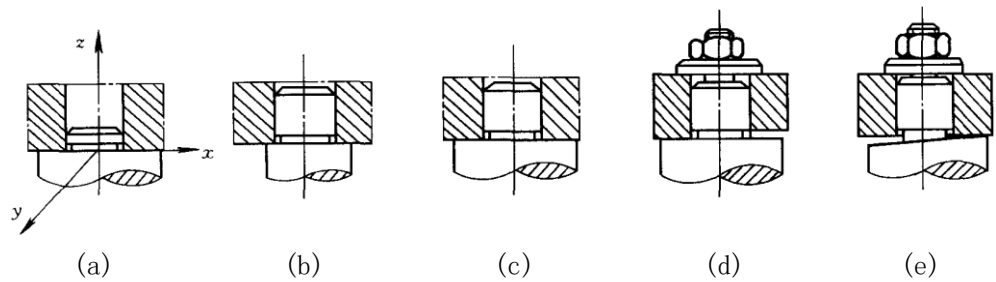


图 5—5 过定位情况分析

工件变形或夹具变形(图 5—5d、e)等后果，导致同一批工件在夹具中位置的不一致性，影响加工精度。但如果工件与夹具定位面的精度都较高时，过定位又是允许的，因为它可以提高工件的安装刚度和加工的稳定性。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                               |
|--------|-----------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                    |
| 课    题 | 自由度与加工要求的关系                                   |
| 教    者 | 黄    曙                                        |
| 教案序号   | 第    3    教案                                  |
| 教学目的   | 1、与尺寸公差有关的自由度<br>2、与位置公差有关的自由度<br>3、          |
| 重点难点   | 1、与尺寸公差有关的自由度，公差带图形分析法<br>2、与位置公差有关的自由度<br>3、 |
| 作    业 | 1、P151.10<br>2、P151.14<br>3、P151.15           |
| 复    习 |                                               |
| 导    入 |                                               |
| 后    记 |                                               |

二、自由度与加工要求的关系

按照限制自由度与加工要求的关系，可把自由度分为与加工技术要求有关的自由度和无关的自由度两类。

如图 5—6 所示，加工  $\phi 6H7$  孔时，根据工件的加工技术要求，只需限制自由度  $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{z}$ 、 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ ，而夹具却限制了工件的自由度  $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{z}$ 、 $\bar{x}$  和  $\bar{y}$ 。显然，其中沿加工孔轴

线方向的移动自由度  $\bar{z}$  可以不必限制，但是，台阶面在限制其他自由度的同时，也限制了这一与加工技术要求无关的自由度，这是可行的。在夹具设计时，应特别注意限制与工件加工技术要求有关的自由度。

1. 与尺寸公差有关的自由度

如图 5—7 所示，车削内螺纹要求控制加工尺寸  $20 \pm 0.03 \text{ mm}$  时，定位基面所需限制的自由度  $\bar{z}$ 、 $\bar{x}$  和  $\bar{y}$  均与加工尺寸有关。通常可以用公差带图形分析法来进行分析。如图 5—8 所示，尺寸  $20 \pm 0.03 \text{ mm}$  的定位基准的公差带形状为两个平行平面，

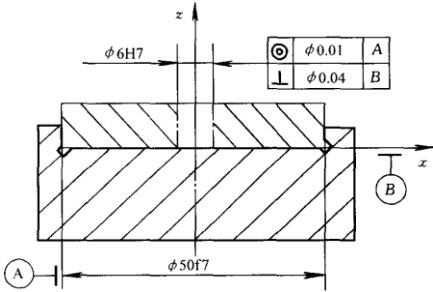


图 5—6 自由度  $\bar{z}$  与加工技术要求无关

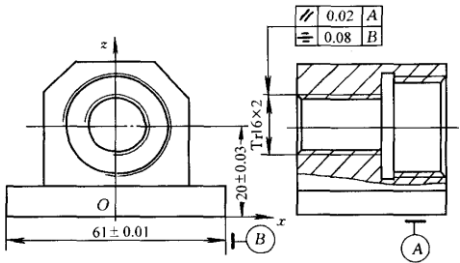


图 5—7 螺母简图

因而自由度  $\bar{z}$ 、 $\bar{x}$  和  $\bar{y}$  会影响加工尺寸  $20 \pm 0.03 \text{ mm}$ 。

当定位基准为直线时(图 5—9)，需要限制的有关自由度为  $\bar{z}$ 、 $\bar{x}$ ，以控制加工尺寸  $h$  的公差  $\delta$ 。分析时，经基准直线作一个辅助平面，则有关的自由度必然处在此平面内。

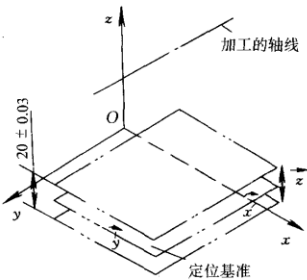


图 5—8 公差带图形分析法示例一

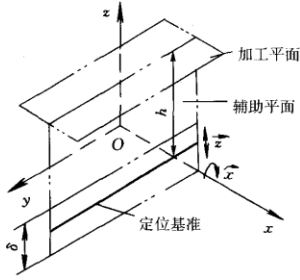


图 5—9 公差带图形分析法示例二

2. 与位置公差有关的自由度 同理,用公差带图形分析法也可以求出与位置公差有关的自由度。常见基准要素与加工要素的位置关系有线对线、线对面、面对面、

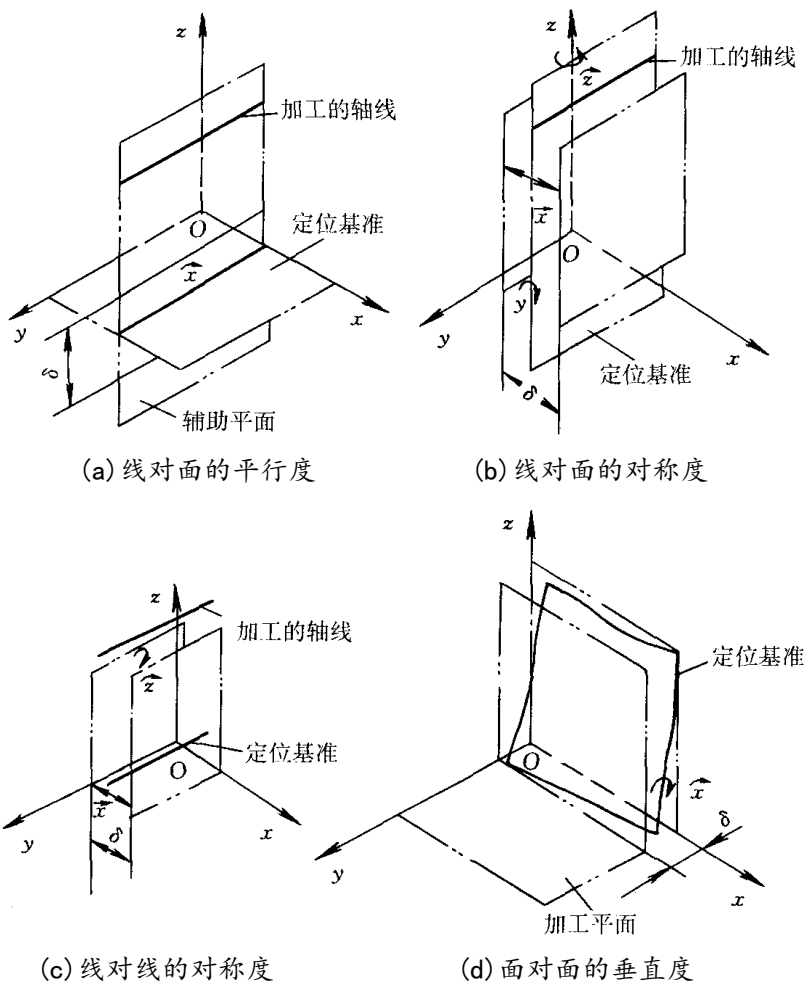


图 5—10 与位置公差有关的自由度分析示例

面对线等几种情况。例如图 5—10 中,与平行度有关的自由度是 $\hat{x}$  (图 5—10a);

与对称度有关的自由度是 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 和 $\hat{z}$  (图 5—10b)。其他公差带的分析方法如图 5—10c、d 所示。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                              |
|--------|--------------------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                                   |
| 课    题 | 定位方法与定位装置                                                    |
| 教    者 | 黄    曙                                                       |
| 教案序号   | 第    4    教案                                                 |
| 教学目的   | 1、工件以粗基准平面定位<br>2、工件以精基准平面定位<br>3、提高平面支承刚度的方法                |
| 重点难点   | 1、工件以粗基准平面定位<br>2、固定支承钉和可调支承钉<br>3、工件以精基准平面定位<br>4、浮动支承与辅助支承 |
| 作    业 | 1、P151.11<br>2、P151.12<br>3、P151.13                          |
| 复    习 |                                                              |
| 导    入 |                                                              |
| 后    记 |                                                              |

### 第三节 定位方法与定位装置

定位方法与定位装置元件的选择,包括定位元件的结构、形状、尺寸和布置形式等,主要决定于工件的加工要求、工件定位基准和外力的作用状况等因素。

#### 一、工件以平面定位

在机械加工过程中,大多数工件都是以平面作为主要定位基准,如箱体、机座、支架等。初始加工时,工件只能以粗基准平面定位,进入后续加工时,工件才能以精基准平面定位。

##### 1. 工件以粗基准平面定位

粗基准平面通常是指经清理后的铸、锻件毛坯表面,其表面粗糙,且有较大的平面度误差。如图 5—11a 所示,当该面与定位支承面接触时,必然是随机分布的三个点接触。这三点所围的面积越小,其支承的稳定性越差。为了控制这三个点的位

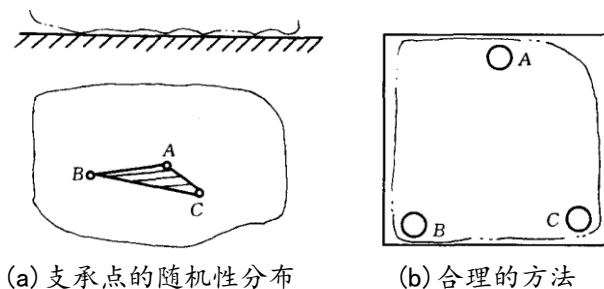


图 5—11 粗基准平面定位的特点

置,就应采用呈点接触的定位元件,以获得较稳定的定位(图 5—11b)。但这并非在任何情况下都是合理的,例如,定位基准为狭窄平面时,就很难布置呈三角形的支承,而应采用面接触定位。

粗基准平面常用的定位元件有固定支承钉和可调支承钉等。

(1) 固定支承钉 固定支承钉已标准化,有 A 型(平头)、B 型(球头)和 C 型(齿纹)三种。粗基准平面常用 B 型和 C 型支承钉,如图 5—12 所示。支承钉用 H7 / r6 过盈配合压入夹具体中。B 型支承钉能与定位基准面保持良好的接触;C 型支承钉的齿纹能增大摩擦系数,可防止工件在加工时滑动,常用于较大型工件的定位。这类定位元件磨损后不易更换。

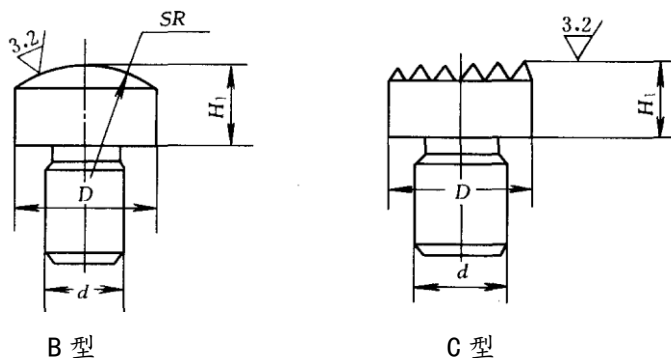


图 5—12 固定支承钉

(2) 可调支承钉 可调支承钉的高度可以根据需要进行调节,其螺钉的高度调整后用螺母锁紧,如图 5—13 所示。它已标准化。可调支承钉主要用于毛坯质量不高,而且是以粗基准平面定位,特别是用于不同批次的毛坯差别较大时,往往在加工每

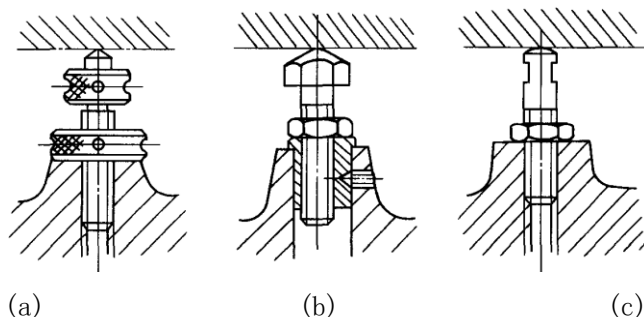


图 5—13 可调支承钉

批毛坯的最初几件时,需要按划线来找正工件的位置,或者在产品系列化的情况下,可用同一夹具装夹结构相同而尺寸规格不同的工件。图 5—14 所示为可调支承钉定位的应用示例。工件以箱体的底面为粗基准定位。铣削顶面,由于毛坯的误差,将使后续镗孔工序的余量偏向一边(如  $H_1$  或  $H_2$ ),甚至出现余量不足的现象。为此,定位时应按划线找正工件的位置,以保证同一批次的毛坯有足够而均匀的加工余量。

(3) 可换支承钉 可换支承钉的两端面都可作支承面,但一端为齿面,另一端为球面或平面。它主要用于批量较大的生产中,以降低夹具的制造成本。如图 5—15 所示,支承钉为图示位置时,用于粗基准的定位;若松开紧定螺钉,将支承钉调头,即可作为精基准的定位。

## 2. 工件以精基准平面定位

工件经切削加工后的平面可作为精基准平面,定位时可直接放在已加工的平面上。此时的精基准平面具有较小的表面粗糙度值和平面度误差,可获得较高的定位精度。常用的定位元件有平头支承钉和支承板等。

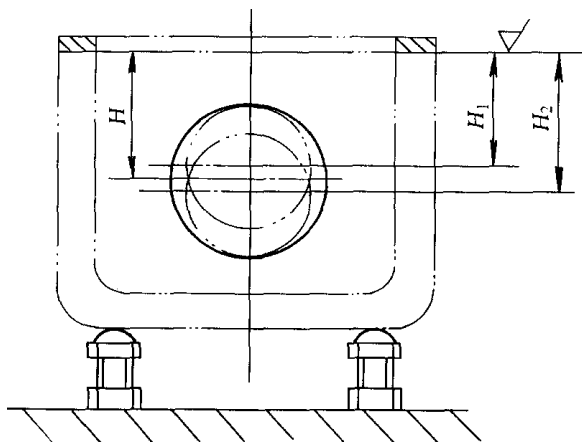
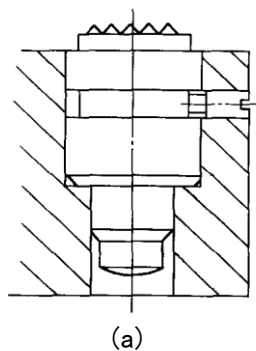


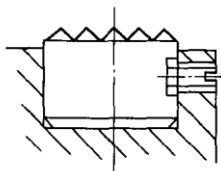
图 5—14 可调支承的应用示例

(1) 平头支承钉 平头支承钉如图 5—16 所示。它用于工件接触面较小的情况,多件使用时,必须使高度尺寸  $H$  相等,故允许产生过定位,以提高安装刚度和稳定性。

(2) 支承板 支承板如图 5—17 所示,它们都已标准化, A 型为光面支承板,用于垂直方向布置的场合; B 型为带斜槽的支承板,用于水平方向布置的场合,其上斜槽可防止细小切屑停留在

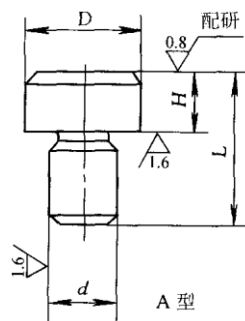


(a)



(b)

图 5—15 可换支承钉



A 型

图 5—16 平头支承钉

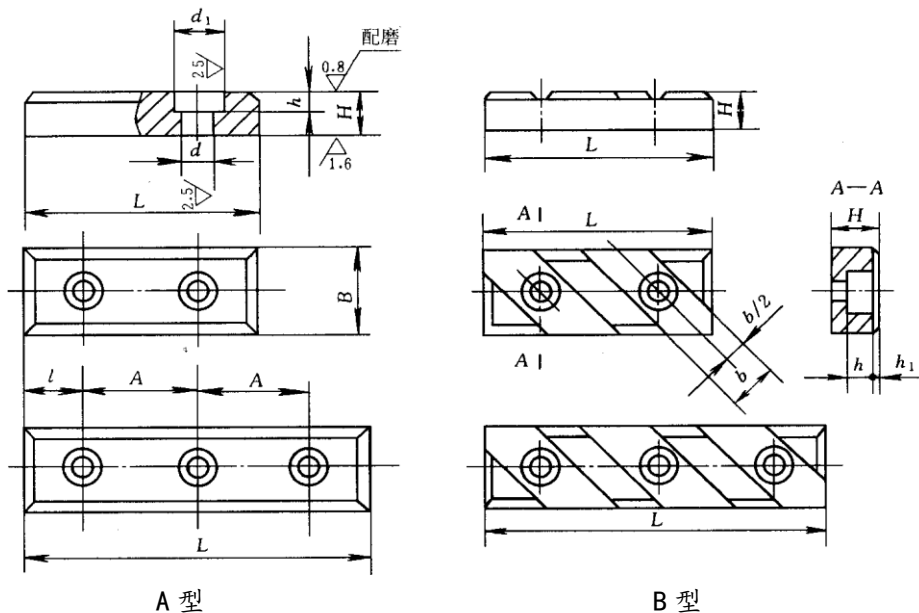
定位面上。

工件以精基准平面定位时，所用的平头支承钉或支承板在安装到夹具体上后，其支承面须进行磨削，以使位于同一平面内的各支承钉或支承板等高，且与夹具体底面保持必要的位置精度(如平行度或垂直度)。

对于中小型零件的定位，可直接利用夹具体上的有关平面定位(图 5—18a)；有时也可用非标准结构的支承板定位(图 5—18b)；还可根据工件定位基准面的形状设计相应的支承板。

### 3. 提高平面支承刚度的方法

在加工大型机体或箱体零件时，为了避免因支承面的刚度不足而引起工件的振动和变形，通常需要考虑提高平面的支承刚度。对刚度较低的薄板状零件进行加工时，也需考虑这一问题。常用的方法是采用浮动支承或辅助支承，这既可减小工件



A 型

B 型

图 5—17 支承板

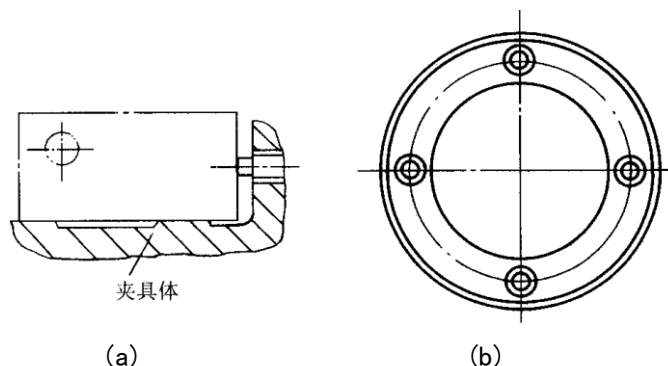


图 5—18 其他定位方法和元件

加工时的振动和变形，又不致产生过定位。

(1) 浮动支承 浮动支承是指支承本身在对工件的定位过程中所处的位置，可随工件定位基准面位置的变化而自动与之适应，如图 5—19 所示。浮动支承是活动的，一般具有两个以上的支承点，其上放置工件后，若压下其中一点，就迫使其余各点上升，直至各点全部与工件接触为止，其定位作用只限制一个自由度，相当于一个固定支承钉。由于浮动支承与工件接触点数的增加，有利于提高工件的定位稳定性和支承刚度。通常用于粗基准平面、断续平面和阶台平面的定位。

采用浮动支承时，夹紧力和切削力不要正好作用在某一支承点上，应尽可能位于支承点的几何中心。

(2) 辅助支承 辅助支承是在夹具中对工件不起限制自由度作用的支承。它主要用于提高工件的支承刚度，防止工件因受力而产生振动或变形。如图 5—20 所示为

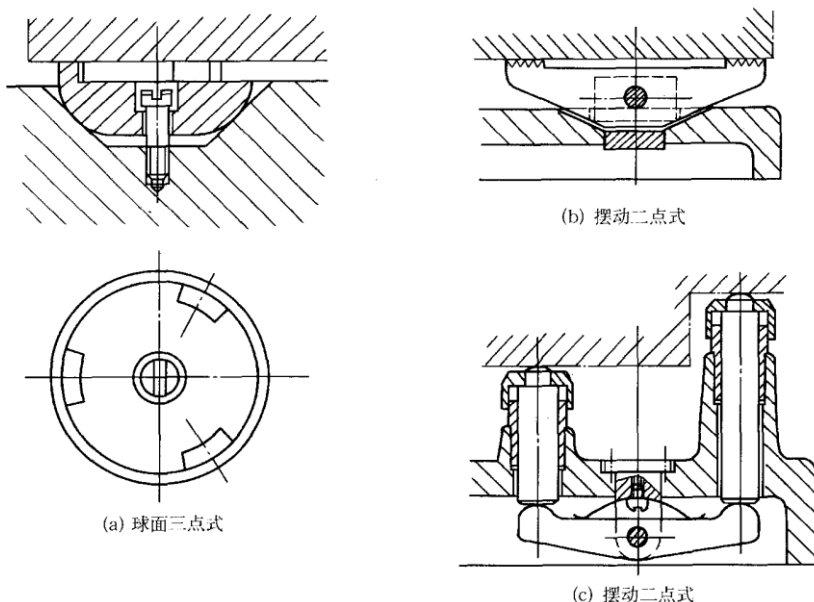


图 5—19 浮动支承

自动调节支承，支承由弹簧的作用与工件保持良好的接触，锁紧顶销即可起支承作

用。图 5—20b 即表示了平面用辅助支承的支承作用，可见其与定位的区别。

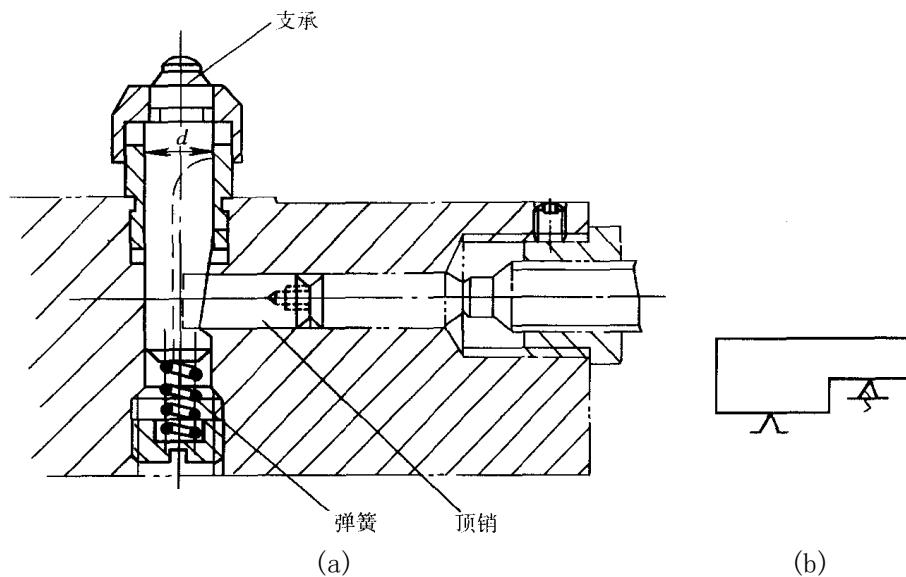


图 5—20 自动调节支承

辅助支承不能确定工件在夹具中的位置，因此，只有当工件按定位元件定好位以后，再调节辅助支承的位置，使其与工件接触。这样每装卸一次工件，必须重新调节辅助支承。凡可调节的支承都可用作辅助支承。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                         |
|--------|-----------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                              |
| 课    题 | 工件以圆柱孔定位                                |
| 教    者 | 黄    曙                                  |
| 教案序号   | 第    5    教案                            |
| 教学目的   | 1、了解常用定位销<br>2、了解定位心轴<br>3、             |
| 重点难点   | 1、固定式定位销、可换式定位销、圆锥销<br>2、圆柱心轴<br>3、锥度心轴 |
| 作    业 | 1、P151.16<br>2、                         |
| 复    习 |                                         |
| 导    入 |                                         |
| 后    记 |                                         |

## 二、工件以圆柱孔定位

工件以圆柱孔定位是一种中心定位，通常要求圆柱孔基准面有一定的精度。工件中心定位的方法是用定位销或定位心轴与孔配合实现的。

### 1. 定位销

定位销一般可分为固定式和可换式两种，它是组合定位中最常用的定位元件之一。当它与端面组合定位时，应该加上支承垫板或支承垫圈。

(1) 固定式定位销 图 5—21 所示为固定式定位销的几种典型结构，其中 A 型为

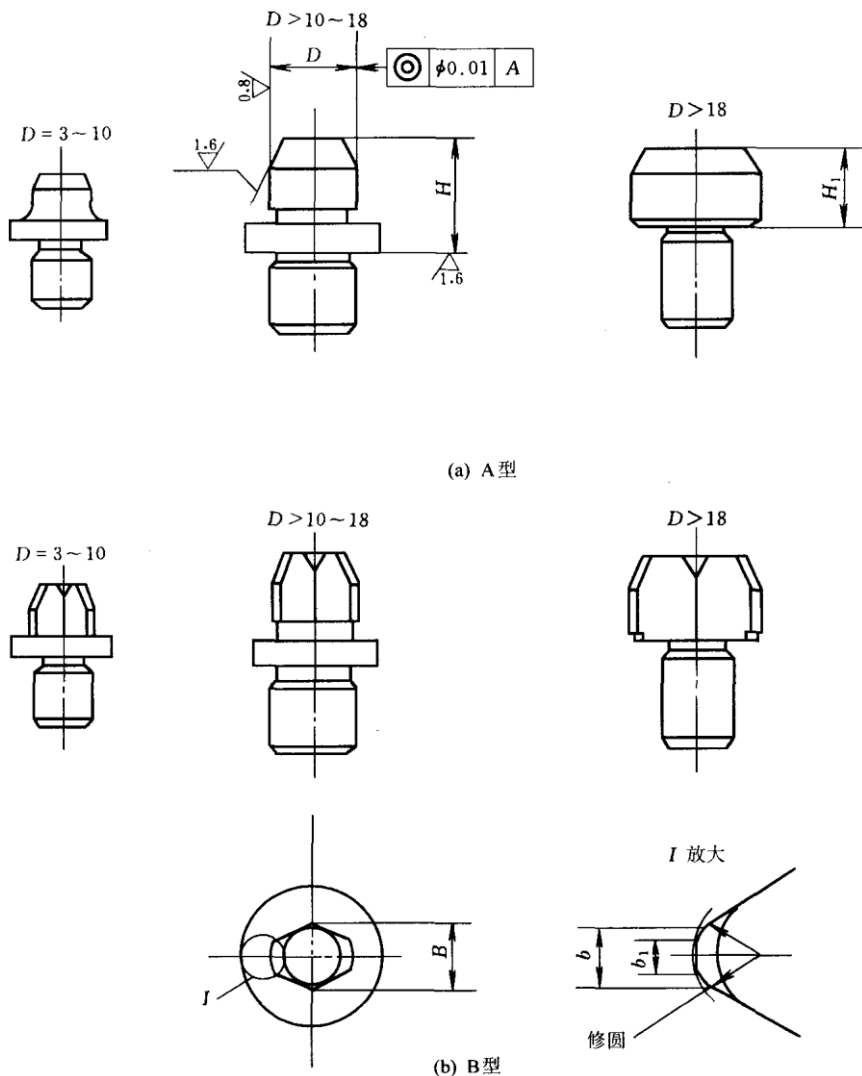


图 5—21 固定式定位销

圆形定位销，它可限制工件的两个自由度；B 型为菱形定位销，它只能限制工件的一个移动自由度，当两孔中心距误差较大时，则其中一孔应用菱形定位销。固定式定位销大多是采用过盈配合直接压入夹具体中使用的。

(2) 可换式定位销 对于大量生产中所用的定位销，由于工件装卸次数频繁，定

位销容易磨损而降低定位精度，所以应采用图 5—22 所示的可换式定位销，以便定期维修更换，降低夹具的制造成本。

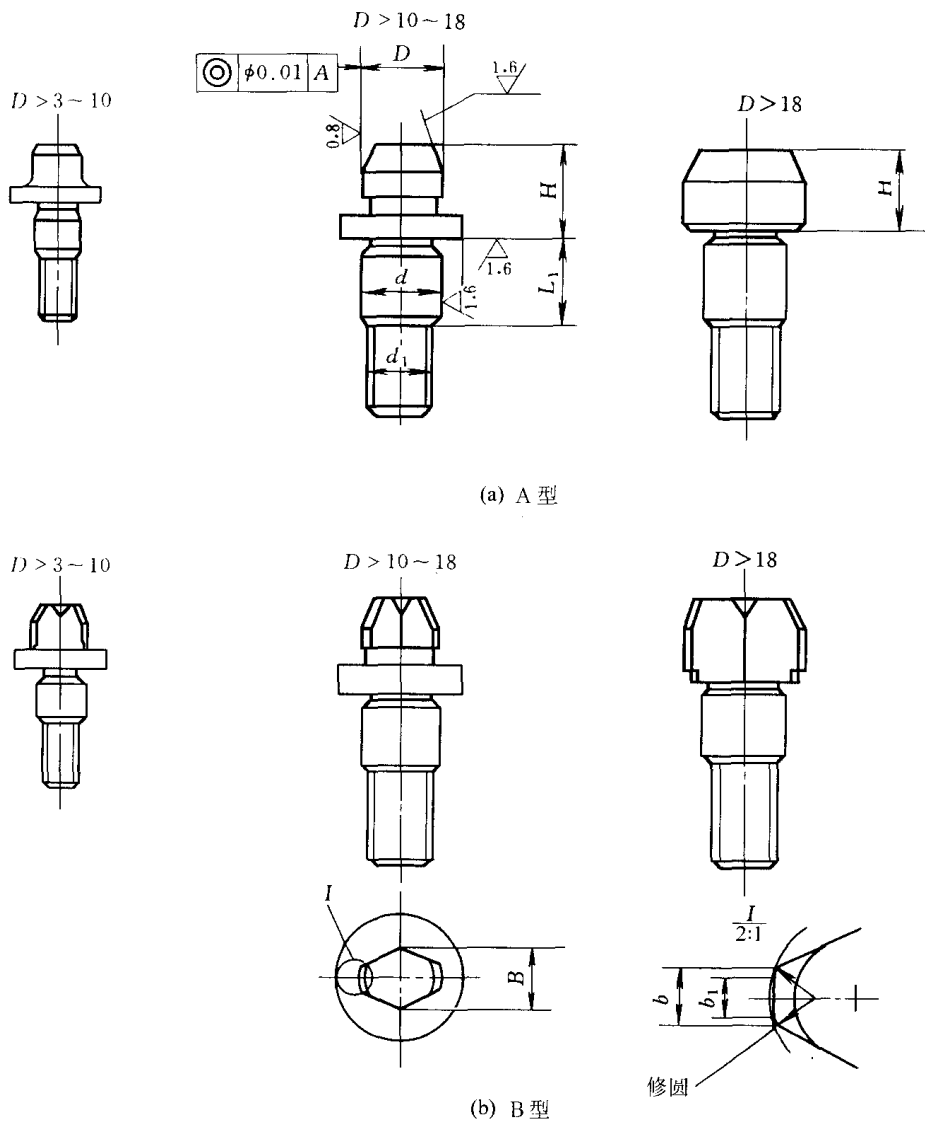


图 5—22 可换式定位销

定位销与定位基准孔接触的相对长度,对自由度的限制是有区别的。如图 5—23a 所示,接触面的相对长度较长( $H \approx H_a$ ),此时定位销应当作长销,相当于四个定位支承点,可限制工件的四个自由度 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 、 $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$ 。而图 5—23b 中,接触面的相对长度较短( $H < H_b$ ),则此时定位销应当作短销,相当于两个定位支承点,故只能限制工件的两个自由度 $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ 。

(3) 圆锥销 为了保证后续孔加工余量的均匀, 常以圆孔用圆锥销定位的方式, 如图 5—24 所示。这种定位方式是圆柱面与圆锥面的接触, 所以, 两者的接触迹线是在某一高度上的圆。可见, 这种定位方式较之用短圆柱销定位, 多限制了一个高度方向的移动自由度, 即共限制了工件的三个自由度 $x$ 、 $y$ 和 $z$ 。圆锥销定位常和其他定位元件组合使用, 这是由于圆柱孔与圆锥销只能在圆周上作线接触, 定位时工件容易倾斜。

## 2. 定位心轴

定位心轴常用于盘类、套类零件及齿轮加工中的定位, 以保证加工面(外圆柱面、圆锥面或齿轮分度圆)对内孔的同轴度。定位心轴的结构形式很多, 除以下要介绍的刚性心轴外, 还有胀套心轴、液性塑料心轴等。它的主要定位面可限制工件的四个自由度, 若再设置防转支承等, 即可实现组合定位。

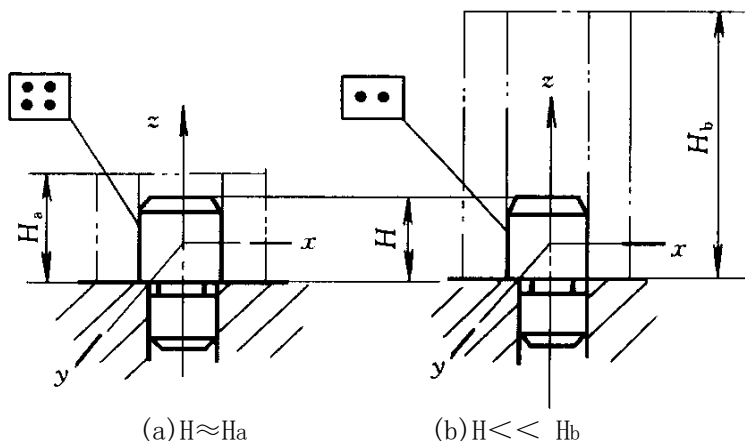
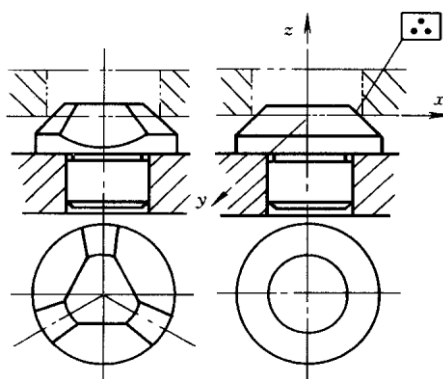


图 5—23 定位销与定位基准孔接触的  
相对长度定位分析

(1) 圆柱心轴 圆柱心轴与工件的配合形式有间隙配合和过盈配合两种。间隙配合心轴(图 3—24a)装卸工件方便, 但定心精度不高。为了减小因配合间隙造成的工件倾斜, 工件常以孔和端面组合定位。故要求工件定位孔与定位端面之间、心轴的圆柱工作表面与其端面之间有较高的垂直度。

图 5—25 所示为过盈配合圆柱心轴, 它由引导部分、工作部分和传动部分组成。这种心轴制造简单, 定心精度较高, 不用另外设置夹紧装置, 但装卸工件比较费时, 且容易损伤工件定位孔, 故多用于定心精度要求较高的精加工中。

(2) 锥度心轴 锥度心轴(图 3—17a)的锥度一般都很小, 通常锥度  $K=1:1\,000 \sim 1:8\,000$ 。装夹时以轴向力将工件均衡推入, 依靠孔与心轴接触表面的均匀弹性变



(a)粗基准用 (b)精基准用

图 5—24 圆孔用圆锥销定位

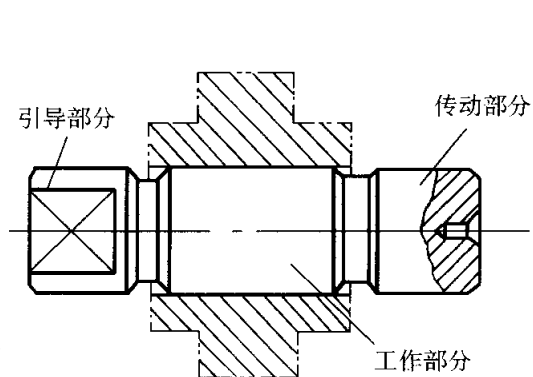


图 5—25 过盈配合心轴

形，使工件楔紧在心轴的锥面上，加工时靠摩擦力带动工件旋转，故传递的转矩较小，装卸工件不方便，且不能加工工件的端面。但这种定位方式的定心精度高，同轴度公差值为  $\phi 0.02 \sim \phi 0.01\text{mm}$ ，工件轴向位移误差较大，一般只用于工件定位孔的精度高于 IT7 级的精车和磨削加工。

锥度心轴的锥度越小，定心精度越高，夹紧越可靠。当工件长径比较小时，为避免因工件倾斜而降低加工精度，锥度应取较小值，但减小锥度后，工件轴向位移误差会增大。同时，心轴增长，刚度下降，为保证心轴有足够的刚度，当心轴长径比  $L/d > 8$  时，应将工件定位孔的公差范围分成 2~3 组，每组设计一根心轴。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                                                 |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                                                      |
| 课    题 | 工件以外圆柱面及特殊表面定位                                                                  |
| 教    者 | 黄    曙                                                                          |
| 教案序号   | 第    6    教案                                                                    |
| 教学目的   | 1、工件以外圆柱面表面定位<br>2、工件以内外圆锥面定位<br>3、工件以 V 形导轨面定位<br>4、工件以燕尾形导轨面定位<br>5、工件以齿形表面定位 |
| 重点难点   | 1、V 形块、半圆套、定位套<br>2、工件以内外圆锥面定位<br>3、工件以 V 形导轨面定位<br>4、工件以燕尾形导轨面定位               |
| 作    业 | 1、现场操作<br>2、                                                                    |
| 复    习 |                                                                                 |
| 导    入 |                                                                                 |
| 后    记 | 安排实训课，学生观看视频                                                                    |

### 三、工件以外圆柱面定位

工件以外圆柱面作为定位基准，是生产中常见的定位方法之一。盘类、套类、轴类等工件就常以外圆柱面作为定位基准。根据工件外圆柱面的完整程度、加工要求等，可以采用 V 形块、半圆套、定位套等定位元件。

#### 1. V 形块

图 5—26 所示为已标准化的 V 形块，它的两半角 ( $\alpha / 2$ ) 对称布置，定位精度较高，当工件用长圆柱面定位时，可以限制四个自由度；若是以短圆柱面定位时，则只能限制工件的两个自由度。V 形块的结构形式较多，如图 5—27 所示。图 5—27a 用于较短的精基准定位；图 5—27b 用于较长的粗基准(或阶梯轴)定位；图 5—27c 用于较长的精基准或两个相距较远的定位基准面的定位；图 5—27d 为在铸铁底座上镶淬硬支承板或硬质合金板的 V 形块，以节省钢材。

V 形块有活动式与固定式之分。图 5—28a 所示为加工轴承座孔时的定位方式，此时活动 V 形块除限制工件的一个自由度以外，还兼有夹紧的作用。图 5—28b 中的活动 V 形块只起定位作用，限制工件的一个自由度。固定 V 形块与夹具体连接在一起，可限制工件的两个自由度。

不论定位基面是否经过加工，也不论外圆柱面是否完整，都可用 V 形块定位。其特点是对中性好，即能使工件定位基准的轴线对应在 V 形块两斜面的对称平面上，而不受定位基准直径误差的影响，并且安装方便，生产中应用很广泛。

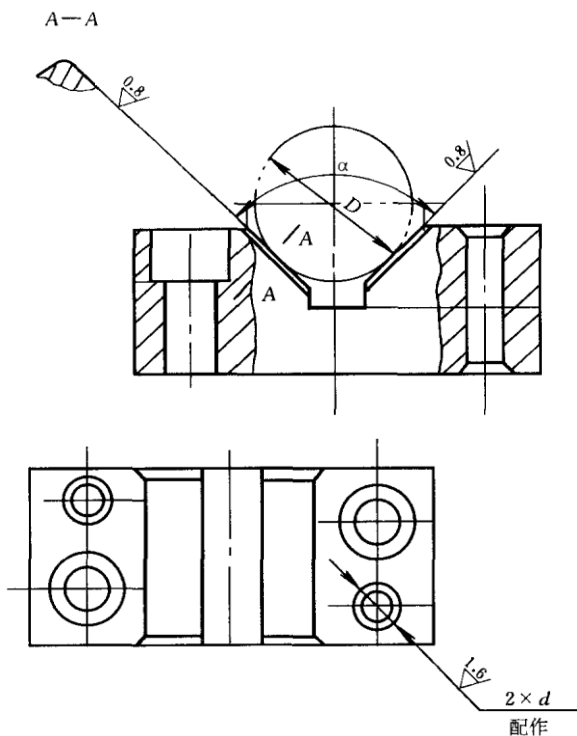


图 5—26 V 形块

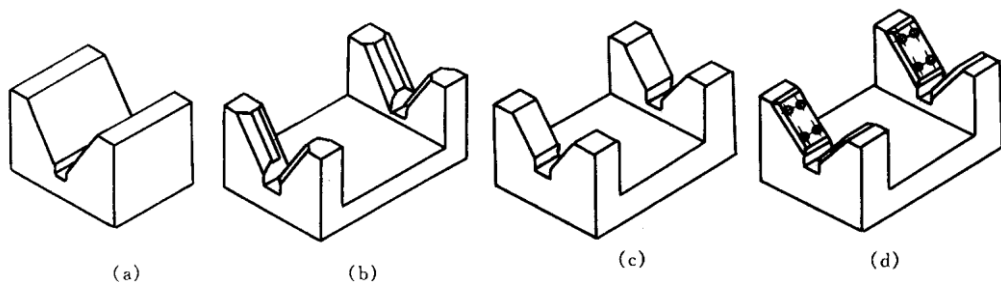


图 5—27 V 形块的结构形式

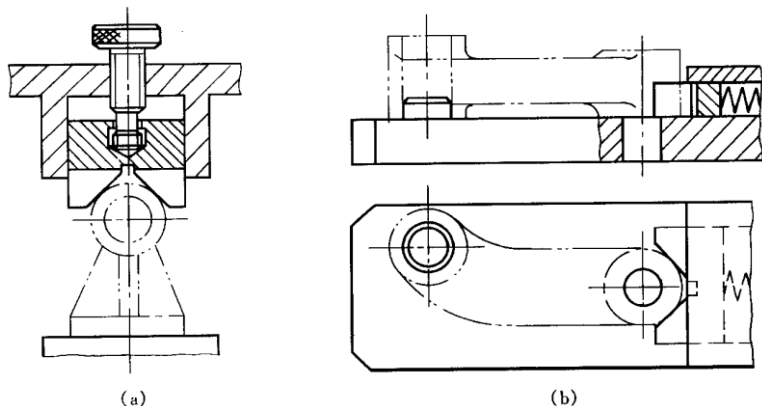


图 5 —28 活动 v 形块的应用

## 2. 半圆套

如图 5—29 所示, 下半部分半圆套装在夹具体上, 其定位面 A 置于工件的下方, 上半部分半圆套起夹紧作用。这种定位方式类似于 v 形块, 常用于不便轴向安装的大型轴套类零件的精基准确定位中, 其稳定性比 v 形块更好。半圆套与定位基准面的接触面积较大, 夹紧力均匀, 可减小工件基准面的接触变形, 特别是空心圆柱定位基准面的变形。工件定位基准面的精度不应低于 IT9 级, 半圆套的最小内径应取工件定位基准面的最大直径。

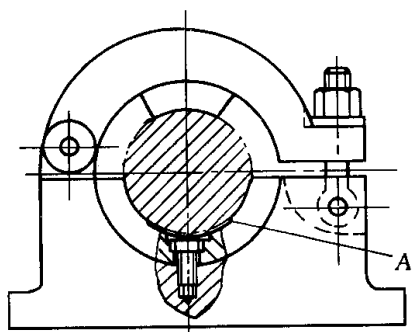


图 5—29 半圆套

## 3. 定位套

工件以外圆柱面作为定位基准面在定位套中定位时, 其定位元件常做成钢套装在夹具体中, 如图 5—30 所示。图 5—30a 用于工件以端面为主要定位基准时, 短定位套只限制工件的两个移动自由度; 图 5—30b 用于工件以外圆柱面为主要定位基准时, 应考虑垂直度误差与配合间隙的影响, 必要时应采取工艺措施, 以避免重复定位引起的不良后果。长定位套可限制工件的四个自由度。这种定位方式为间隙配合的中心定位, 故对定位基准面的精度要求较高(不应低于 IT8 级)。定位套应用较少, 常用于小型的形状简单的轴类零件的定位。

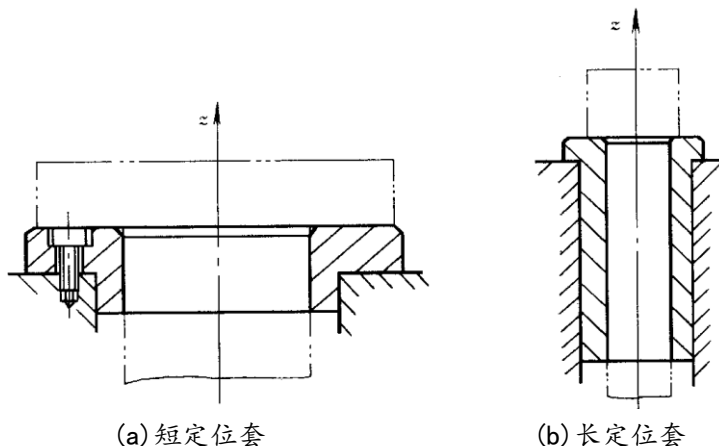


图 5—30 定位套

#### 四、工件以特殊表面定位

工件除用上述几种典型表面作定位基准外，有时还采用某些特殊表面作定位基准。下面介绍几种典型的特殊定位方法。

##### 1. 工件以内外圆锥面定位

图 5—31 所示为圆锥面的定位方法。图 5—31a 为外圆锥面在 V 形块上定位，与挡销 E 一起限制工件的五个自由度 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 、 $y$ 和 $z$ ；图 5—31b、c 为圆锥面配合的中心定位方式，也可限制工件的五个自由度。当工件的圆锥面用涂色法检验接触面大于 85% 时，可获得很高的定位精度。

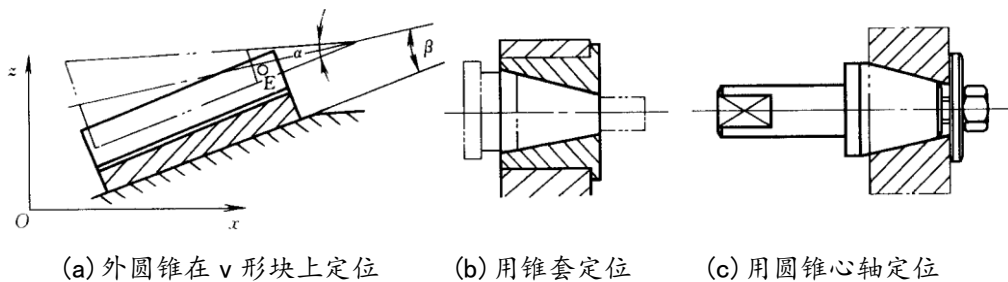


图 5—31 圆锥面的定位方法

##### 2. 工件以 V 形导轨面定位

图 5—32 所示为车床滑板以底部的 V 形导轨面作为定位基准的短圆柱—V 形座定位装置。它是在一个导轨槽中设置两个短圆柱 1，以限制工件的四个自由度，其转动自由度由设置在活动 V 形座上的短圆柱 2 限制，支承钉限制工件的一个自由度。

设计短圆柱—V 形座时，其短圆柱的直径 D 要适当，应保证工件与 V 形座之间有一定的间隙  $\Delta$ ，以免发生碰撞。

##### 3. 工件以燕尾形导轨面定位

工件以燕尾形导轨面定位时，常用如图 5—33 所示的定位装置。图 5—33a 是与上述 V 形导轨槽相似的短圆柱一支座与一平面作为定位元件，可限制工件的五个自

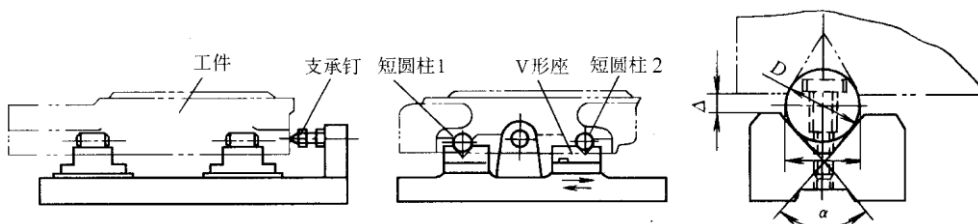


图 5-32 车床的短圆柱—V 型座定位装置简图

由度，这种定位方式结构简单，定位稳定；图 5—33b 是两边形状与燕尾对应的钳口，其中一边是可移动的，但制造麻烦，定位精度不高。

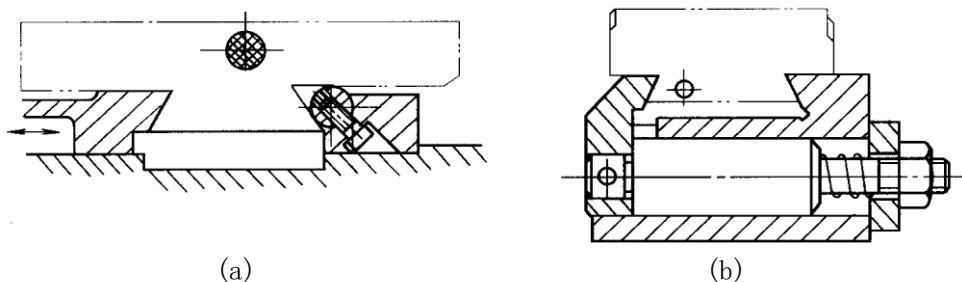


图 5—33 工件以燕尾形导轨面定位

#### 4. 工件以齿形表面定位

齿轮经整体淬火后，要对其内孔和齿面进行磨削加工。为了保证磨齿面时余量均匀，先以齿槽两侧齿形表面定位磨内孔，再以内孔定位磨齿面。如图 5—34a 所示，齿轮在以齿槽两侧齿形表面定位磨内孔时，用三个精度很高的定位滚柱均匀布置在齿槽内，再一起安装在定心夹紧装置中进行磨孔。图 5—34b 所示为简单的弹性薄壁套磨孔夹具，将齿轮和三个定位滚柱一起安装在薄壁套内，其中一个定位滚柱削平，便于安装。当转动此滚柱时，利用薄壁套的均匀弹性变形，使齿轮定心并夹紧。

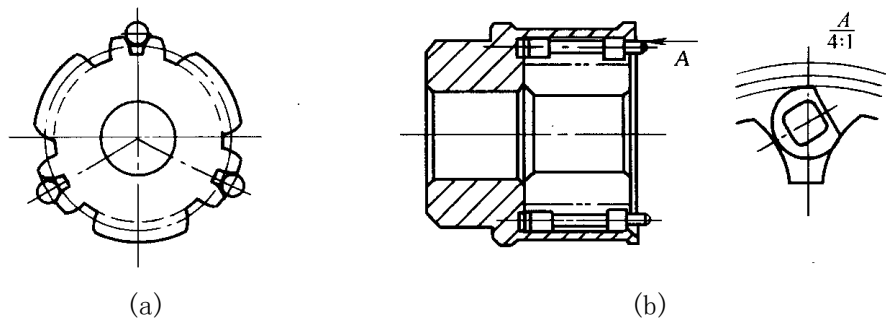


图 5-34 齿轮以齿形面定位

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                            |
|--------|--------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                 |
| 课    题 | 工件在夹具中的夹紧                                  |
| 教    者 | 黄    曙                                     |
| 教案序号   | 第    7    教案                               |
| 教学目的   | 1、夹紧装置的组成<br>2、夹紧装置的基本要求<br>3、             |
| 重点难点   | 1、动力源<br>2、中间传力机构<br>3、夹紧元件<br>4、夹紧装置的基本要求 |
| 作    业 | 1、P151.17<br>2、P151.18                     |
| 复    习 |                                            |
| 导    入 |                                            |
| 后    记 | 实训工场现场观看夹紧过程                               |

#### 第四节 工件在夹具中的夹紧

夹紧的目的就是保证工件在加工过程中，不致因外力的作用而改变原来的正确定位位置，同时，夹紧过程中也不能使工件产生变形。

##### 一、夹紧装置的组成及基本要求

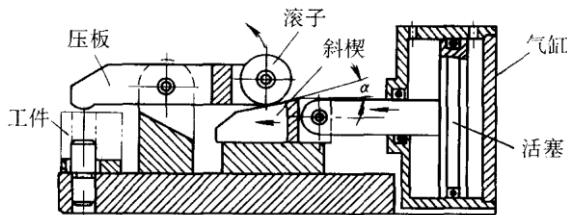
###### 1. 夹紧装置的组成

图 5—35 所示为典型的夹紧装置，它由以下几个部分组成。

(1) 动力源 动力源是指产生原始夹紧作用力的部分。如果用人力对工件进行夹紧，称为手动夹紧；如果用气动、液动和电动等动力装置来代替人力进行夹紧，则称为机动夹紧。图 5—35 中的气缸、活塞等是气动装置元件。

(2) 中间传力机构 中间传力机构是介于动力源和夹紧元件之间的机构。它把动力源的夹紧作用力传递给夹紧元件，然后由夹紧元件最终完成对工件的夹紧。一般中间传力机构在传递夹紧力的过程中，能改变夹紧力的大小和方向，并可根据需要而具有一定的自锁性能。

在图 5—35 中，斜楔和滚子为中间传力机构，借助斜楔和铰链杠杆机构的作用，将气缸中气体压力所产生的推动活塞的水平作用力改变成为垂直向下的夹紧力。由此便可推动夹紧元件(压板)完成对工件的夹紧动作。与此同时，根据夹紧力的实际需要，利用斜楔和压板的作用，可以实现使夹紧力的改变。对于夹紧装置的自锁性能，该机构是通过限制斜楔的斜角



( $\alpha < 6^\circ$ ) 来实现的。在手动夹紧装置中，工件被夹紧后，源动力即刻消失，故保证夹紧装置的自锁性能尤其重要。

(3) 夹紧元件 夹紧元件是夹紧装置的最终执行元件。通过它与

图 5—35 夹紧装置的组成示例  
工件的受压表面直接接触而实现对工件的夹紧。

中间传力机构和夹紧元件合称为夹紧机构。

###### 2. 夹紧装置的基本要求

夹紧装置的设计和选用是否正确合理，对于保证加工质量、提高生产效率、降低生产成本和减轻工人劳动强度都有着很大的影响。为此，在设计和选用夹紧装置时，提出以下基本要求：

- (1) 在夹紧过程中应不破坏工件在定位时所获得的正确位置。
- (2) 夹紧应可靠和适当。既要保证在加工过程中工件位置不产生变化，同时不能使工件产生不允许的变形和表面损伤。
- (3) 夹紧迅速，操作安全、方便、省力。
- (4) 夹具结构应尽量简单紧凑，容易制造、调整和维修。
- (5) 夹紧装置应就有足够的夹紧行程，手动时要有良好的自锁性能。
- (6) 夹紧装置的自动化程度应与生产类型和生产条件相匹配。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                   |
|--------|---------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                        |
| 课    题 | 夹紧力的选择                                            |
| 教    者 | 黄    曙                                            |
| 教案序号   | 第    8    教案                                      |
| 教学目的   | 1、夹紧力的方向<br>2、夹紧力的作用点<br>3、夹紧力的大小                 |
| 重点难点   | 1、夹紧力方向的确定原则<br>2、夹紧力的作用点的位置和数目的确定<br>3、夹紧力的大小及估算 |
| 作    业 | 1、P151.19<br>2、                                   |
| 复    习 |                                                   |
| 导    入 |                                                   |
| 后    记 |                                                   |

## 二、夹紧力的选择

夹紧装置是用来装夹工件的，而要把工件夹紧，就必须对工件施加一定的夹紧力，所以，设计和选用夹紧装置的核心问题，就是如何正确的施加夹紧力。夹紧力三个要素包括大小、方向和作用点，它们的确定是一个综合性问题，应该根据工件的形状、尺寸、重量和加工要求，定位装置的结构及其布置方式，切削条件及切削力的大小等具体情况确定。

### 1. 夹紧力的方向

夹紧力的方向与工件的定位方案、夹具定位支承的配置状况及工件在加工过程中受外力(特别是切削力)的作用方向等因素有关，它将直接影响工件的定位精度和所需夹紧力的大小。为此，夹紧力方向的确定应遵循以下原则：

(1) 夹紧力的方向尽量垂直作用于主要定位面，以保证定位正确 在夹紧力作用下，应确保工件与定位元件良好接触，一般情况下，工件的主要定位基准面的面积较大，精度较高，限制的自由度多，故主要夹紧力应垂直指向主要定位基准面，以利于定位准确稳定。图 5—36a 所示为在角形支座上镗一个与左端面有垂直度要求的孔的工序简图。根据基准重合原则，应选择左端面为主要定位基准面，因此，夹紧力  $F_w$  应垂直于 A 面(图 5—36c)。若使夹紧力  $F_w$  垂直于 B 面(图 5—36b)，由于工件左端面与底面间存在垂直度误差，必然会破坏原来的定位精度，难以保证加工要求。

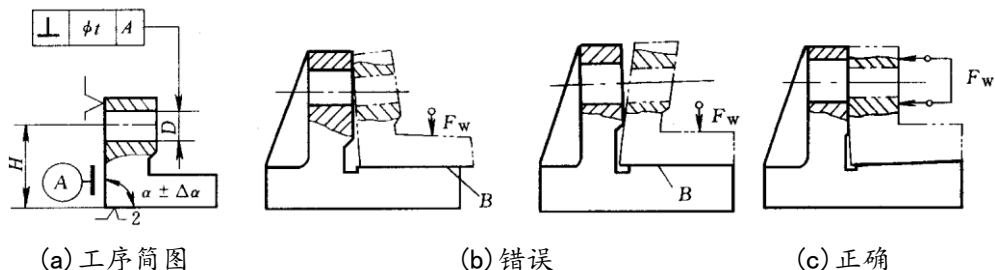


图 5—36 夹紧力应指向主要定位基准面

(2) 夹紧力的方向应使所需夹紧力最小 图 5—37 所示为工件在夹具中夹紧时几种典型的受力情况。从装夹方便和减小夹紧力的角度考虑，应使主要定位支承表面处于水平朝上位置，如图 5—37a、b 所示，工件装夹既方便又稳定，特别是图 5—37a 所示情况，其切削力  $F$  和工件重力  $W$  都朝向主要定位支承表面，因而所需夹紧力  $F_w$  最小；但图 5—37c、d、e、f 所示的情况就较差，尤其是图 5—37d 所示情况，靠夹紧力产生的摩擦力来克服切削力和工件重力，故所需夹紧力最大，应尽量避免。

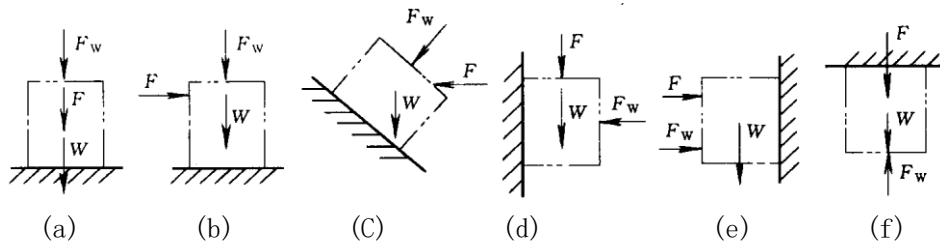


图 5—37 夹紧力方向与夹紧力大小的关系

(3) 夹紧力的方向应是工件刚性较好或接触面较大的方向 如图 5—38 所示, 薄壁套筒的轴向刚性比径向刚性好, 若用图 5—38a 所示三爪自定心卡盘夹紧套筒, 将使其产生较大的变形; 若如图 5—38b 所示, 用螺母沿轴向夹紧, 则不易产生变形。

## 2. 夹紧力的作用点

确定夹紧力的作用点, 就是在夹紧力的方向已确定的情况下, 确定夹紧元件与工件接触处(即力的作用点)的位置和数目。一般应注意以下几点:

(1) 夹紧力作用点应使工件定位正确, 数目应适当 对刚性较差的工件, 夹紧力作用点应增多, 力求避免单点集中夹紧, 以减小工件的夹紧变形。如图 5—39 所示薄壁套筒, 因其径向刚性很差, 故采用弹簧套筒或特殊卡爪实现多点夹紧。但夹紧点越多, 夹紧机构将越复杂, 夹紧的可靠性也越差。所以, 在不致产生夹紧变形的前提下, 夹紧力作用点的数目越少越好。

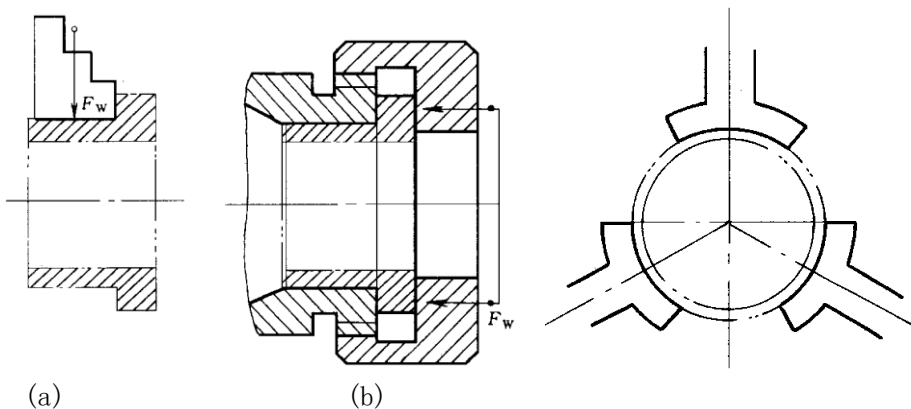


图 5—38 夹紧力方向与工件刚性的关系

图 5—39 薄壁套筒的多点夹紧

(2) 夹紧力作用点应落在定位支承点的范围内 作用点应与支承件相对, 以免产生工件变形和弯矩。如图 5—40 所示, 当夹紧力作用点的位置不当(超出定位支承点的范围)时, 夹紧过程中, 将使工件偏转或移动, 从而破坏了工件的既定位置。如将夹紧力作用点改在图示箭头所指位置时, 就不会因夹紧而破坏工件的定位了。

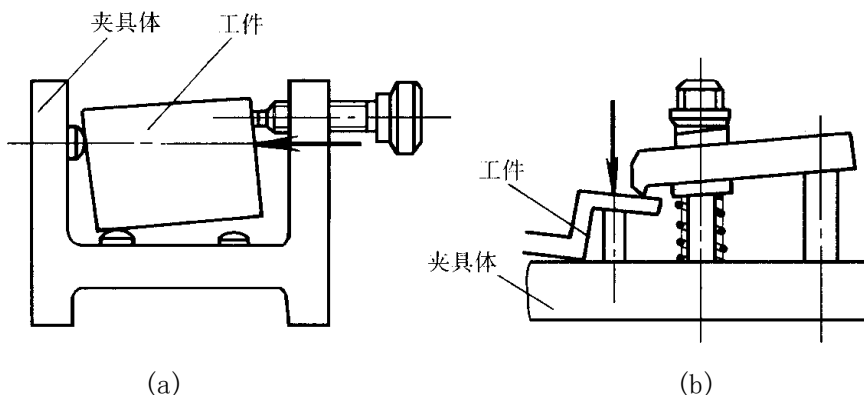


图 5—40 夹紧力作用点示例

(3) 夹紧力作用点应选在工件刚性好的部位, 以免工件变形 如图 5—41 所示,

图 5—41a 中夹紧力  $F$ 、 $IV$  作用在箱体的顶面中心，这是刚性较差的部位，必然会产生较大的夹紧变形；若将夹紧力作用点改在图 5—41b 所示刚性较好的凸边上，就不会产生较大的夹紧变形了。箱体没有凸边时，可用图 5—41c 所示的三点夹紧，以降低夹紧点的压强，减少工件的夹紧变形。

(4) 夹紧力作用点应尽量靠近被加工表面，以增加工件安装刚性，减少振动 夹紧力作用点靠近被加工表面，可减小切削力对该点的力矩，从而可以防止或减小工件切削时的振动及弯曲变形。如图 5—42 所示，因  $M_1 < M_2$ ，故在切削力大小相同的条件下，图 5—42a、c 所用的夹紧力  $F_w$  较小。

如图 5—43 所示，当夹紧力作用点只能远离被加工表面，造成工件安装刚性较差时，可在靠近工件被加工表面附近设置辅助支承，并施加辅助夹紧力  $F_{w1}$ ，以减小工件的振动及弯曲变形。

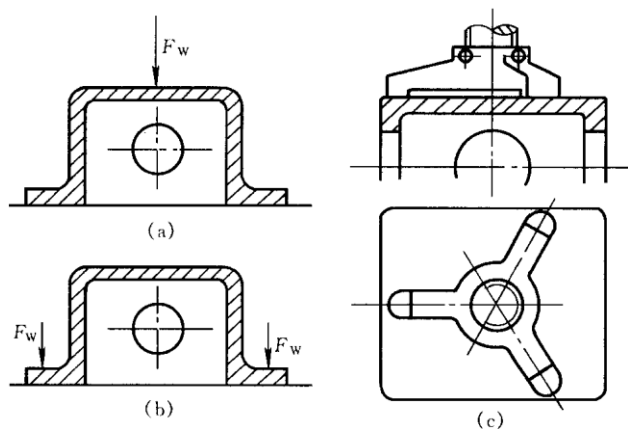


图 5—41 夹紧力作用点与夹紧变形的关系

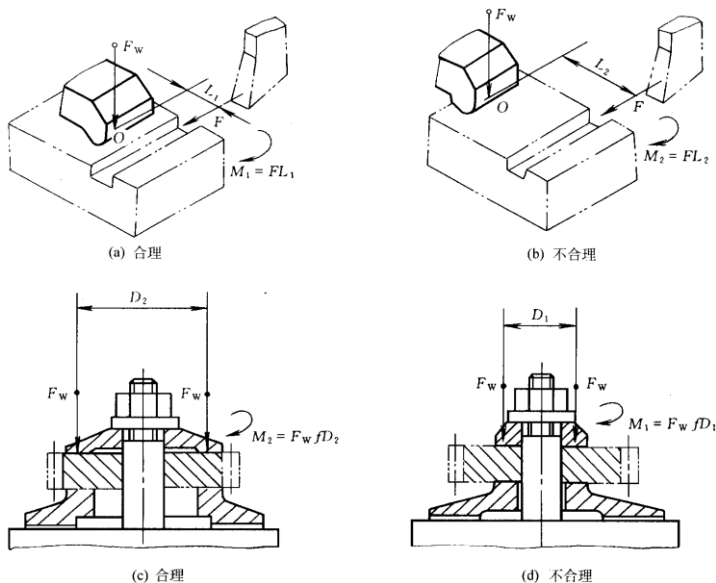


图 5—42 夹紧力作用点布置分析

### 3. 夹紧力的大小

夹紧力的大小从理论上讲，应该与作用在工件上的其他力(力矩)相平衡。而实际上，夹紧力的大小还与工艺系统的刚度、夹紧机构的传力效率等因素有关，计算

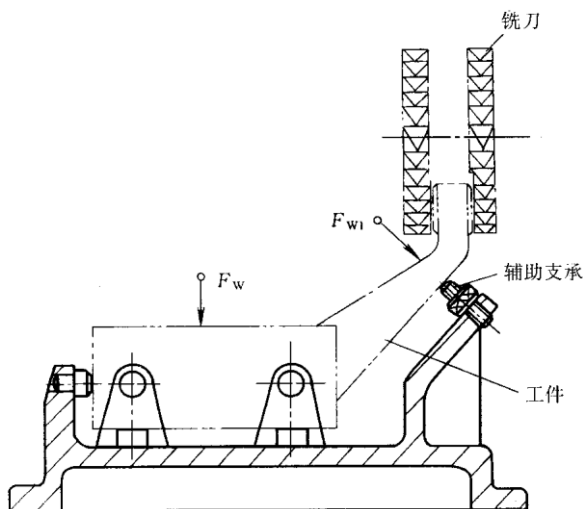


图 5—43 增设辅助支承和辅助夹紧力

是很困难的。因此，在实际工作中常用估算法、类比法或经验法来确定所需夹紧力的大小。

用估算法确定夹紧力的大小时，首先根据加工情况，确定工件在加工过程中对夹紧最不利的瞬时状态，分析作用在工件上的各种力，再根据静力平衡条件计算出理论夹紧力，最后再乘以安全系数，即可得到实际所需夹紧力，即

$$F_{wk} = KF_w$$

式中： $F_{wk}$ ——实际所需夹紧力，N；

$F_w$ ——由静力平衡计算出的理论夹紧力，N；

$K$ ——安全系数，通常取 1.5~2.5，精加工和连续切削时取较小值，粗加工或断续切削时取较大值，当夹紧力与切削力方向相反时，取 2.5~3。

对于一般中、小型工件的加工，主要考虑切削力的影响；

对于大型工件的加工，必须考虑重力的影响；

对于高速回转的偏心工件和往复运动的大型工件的加工，还必须考虑离心力和惯性力的影响。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                 |
|--------|-------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                      |
| 课    题 | 常用夹紧机构(一)                                       |
| 教    者 | 黄    曙                                          |
| 教案序号   | 第    9    教案                                    |
| 教学目的   | 1、斜楔夹紧机构<br>2、偏心夹紧机构<br>3、螺旋夹紧机构                |
| 重点难点   | 1、斜楔夹紧机构原理及应用<br>2、偏心夹紧机构原理及应用<br>3、螺旋夹紧机构原理及应用 |
| 作    业 | 1、P151.20<br>2、                                 |
| 复    习 |                                                 |
| 导    入 |                                                 |
| 后    记 |                                                 |

## 第五节 常用夹紧机构

从夹紧装置的组成中可以看到，不论采用何种动力源(手动或机动)，一切外加的作用力要转化为夹紧力，都必须通过夹紧机构。因此，夹紧机构是夹紧装置中的重要组成部分。常用的夹紧机构有斜楔夹紧机构、偏心夹紧机构、螺旋夹紧机构

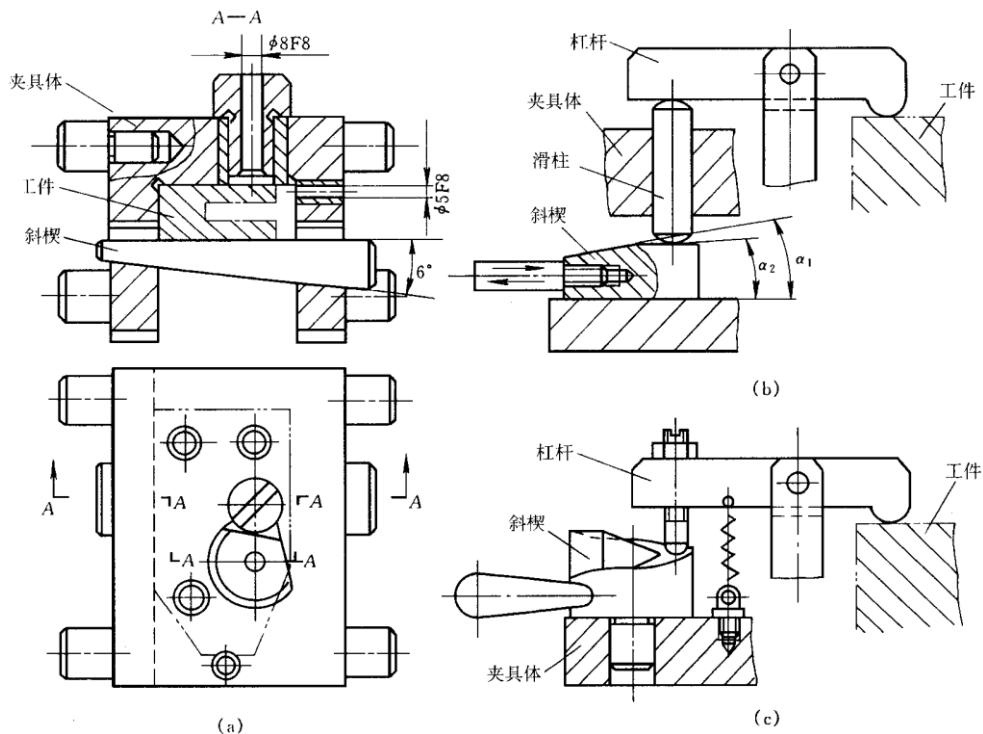


图 5—44 斜楔夹紧机构

和铰链夹紧机构。

### 一、斜楔夹紧机构

斜楔夹紧机构是指用斜楔作为传力元件或夹紧元件的夹紧机构。它是利用其斜面的移动所产生的压力夹紧工件的。图 5—44a 所示为直接用斜楔作为夹紧元件的夹紧机构。工件装入后，敲击斜楔大头，夹紧工件。由于用斜楔直接夹紧工件的夹紧力较小，行程较短，操作费时，所以，在实际生产中很少使用，而常常是将斜楔与其他机构联合起来使用。图 5—44b 为斜楔、滑柱、杠杆组合夹紧机构，它可以用手动，也可以用气动或液动实现夹紧。图 5—44c 为端面斜楔、杠杆组合夹紧机构。

### 二、偏心夹紧机构

偏心夹紧机构是指用偏心元件直接或间接夹紧工件的夹紧机构。这种机构夹紧动作快，工作效率高，应用较广泛。偏心元件一般有圆偏心和曲线偏心两种类型。曲线偏心是采用阿基米德螺旋线或对数螺旋线作为轮廓曲线，其升角变化均匀，但制造复杂，故很少使用。圆偏心(偏心轮或偏心轴)因结构简单、制造容易、操作方便而得到广泛的应用，但其夹紧力和夹紧行程均较小，自锁性差，一般用于切削力

小、振动小、没有离心力影响的场合。图 5—45 所示为几种常见的圆偏心夹紧机构。

### 三、螺旋夹紧机构

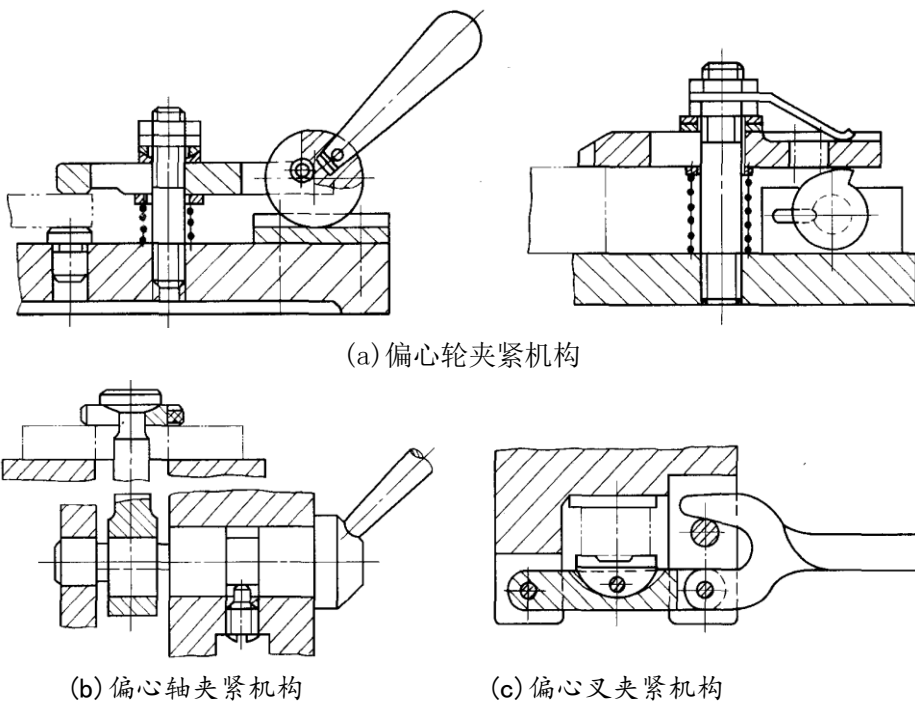


图 5—45 圆偏心夹紧机构

螺旋夹紧机构是指用螺旋元件直接夹紧或与其他元件组合实现夹紧工件的夹紧机构。它的结构简单，夹紧行程大，尤其是具有增力大，自锁性能好的特点，其许多元件都已标准化，很适用于手动夹紧，在生产中使用极为普遍。

#### 1. 单个螺旋夹紧机构

如图 5—46 所示为单个螺旋夹紧机构的两种基本形式。图 5—46a 所示螺旋夹紧机构，螺钉头直接与工件表面接触，可能损伤工件表面或带动工件转动，为此，可在螺钉头部装上摆动压块，如图 5—47 所示。摆动压块的结构有：A 型，其端面是光滑的，用于夹紧已加工表面；B 型，其端面有齿纹，用于夹紧毛坯表面；当夹紧时要求螺钉只移动不转动，可采用图 5—47c 所示的结构。

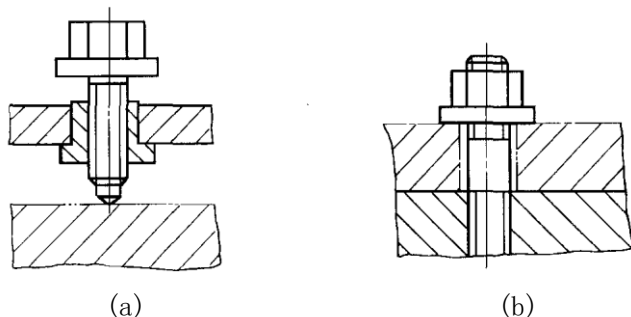


图 5—46 单个螺旋夹紧机构

编写者：黄曙

单个螺旋夹紧机构的主要缺点是夹紧动作慢，工件装卸费时。如图 5—46b 所示的螺母夹紧机构，装卸工件时，要将螺母拧上拧下，费时费力。图 5—48 所示的几种常见的快速螺旋夹紧机构可以克服这一缺点。图 5—48a 所示为使用了开口垫圈，夹紧螺母的外径小于工件孔径，松开螺母取下开口垫圈，工件就可以方便的装卸。图 5—48b 采用了快卸螺母，其螺孔内钻有倾斜光孔，其孔径略大于螺纹外径。螺母倾斜沿着光孔套入螺杆，然后将螺母摆正，使之与螺杆旋合，便可夹紧工件。在图 5—48c 中，夹紧轴上开有相连的直槽和螺旋槽，先推动手柄，使摆动压块迅速靠近工件，继而转动手柄，夹紧工件并自锁。在图 5—48d 中，螺杆轴上开有直槽，推动手柄 1，使螺杆轴带动摆动压块迅速靠近工件，将手柄 2 扳回至图示位置，转动手柄 1 带动螺母旋转，因手柄 2 的限制，螺母不能右移，致使螺杆带动摆动压块左移，从而夹紧工件。松开时，先反转手柄 1，稍微松开后，即可扳下手柄 2，为手柄 1 的快速右移

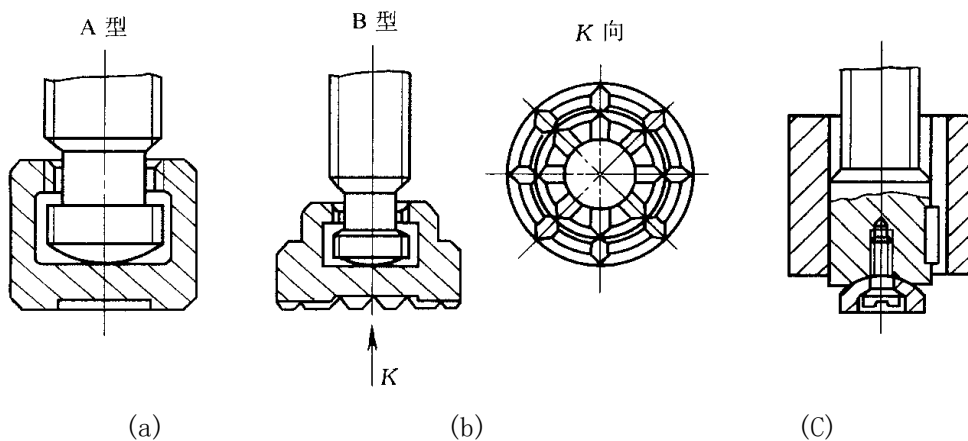
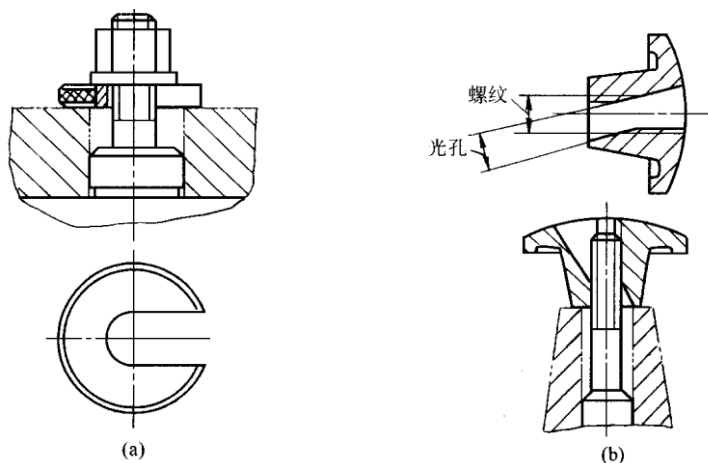


图 5—47 摆动压块



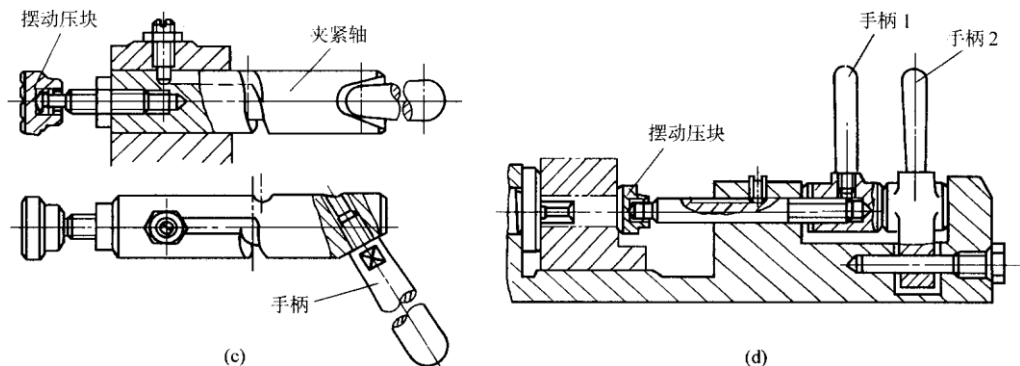


图 5—48 快速螺旋夹紧机构柄

让出空间。

## 2. 螺旋压板机构

在夹紧机构中，结构形式变化最多的是螺旋压板机构。此种夹紧机构结构简单，夹紧力和夹紧行程都较大，而且还可以通过压板所形成的杠杆比加以调节，因此，在手动夹紧机构中应用极为广泛。图 5—49 所示为几种常见螺旋压板机构的典型结构，图 5—49a、b 为移动压板式，图 5—49c、d 为回转压板式。

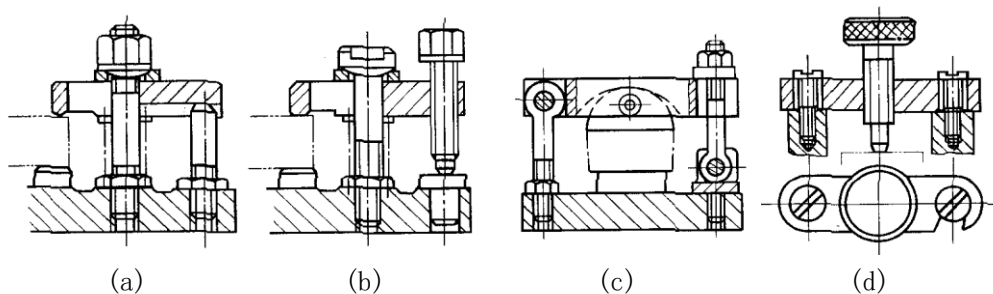


图 5—49 螺旋压板机构

如图 5—50 所示为螺旋钩形压板机构，其特点是结构紧凑，使用方便。当钩形压板妨碍工件装卸时，可采用如图 5—51 所示的自动回转钩形压板机构。

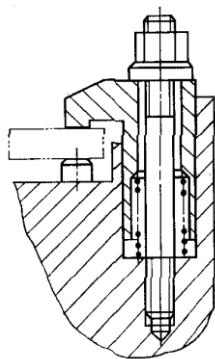


图 5—50 螺旋钩形压板机构

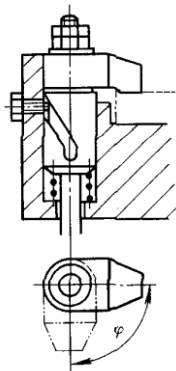


图 5—51 自动回转钩形压板机构

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                              |
|--------|----------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                   |
| 课    题 | 常用夹紧机构(二)                                    |
| 教    者 | 黄    曙                                       |
| 教案序号   | 第    10  教案                                  |
| 教学目的   | 1、了解铰链夹紧机构<br>2、                             |
| 重点难点   | 1、单臂铰链夹紧机构<br>2、双臂单作用铰链夹紧机构<br>3、双臂双作用铰链夹紧机构 |
| 作    业 | 1、P151. 21<br>2、                             |
| 复    习 |                                              |
| 导    入 |                                              |
| 后    记 | 比较四种常用夹紧机构                                   |

#### 四、铰链夹紧机构

铰链夹紧机构是指用铰链连接的连杆作中间传力元件的夹紧机构。如图 5—52 所示为几种典型的铰链夹紧机构。图 5—52a 为单臂铰链夹紧机构；图 5—52b 为双臂单作用铰链夹紧机构；图 5—52c 为双臂双作用铰链夹紧机构。铰链夹紧机构结构简单，增力倍数大，摩擦损失小，但自锁性能差。铰链夹紧机构常和其他具有自锁性能的机构组成复合夹紧机构。因此，常用于气动夹具中作为增力机构，以弥补气缸原动力的不足。此时，应在气压回路中，增设保压装置等，使原动力不会消失或减弱，以确保夹紧安全可靠。图 5—53 为铰链夹紧机构的工作原理示意图。

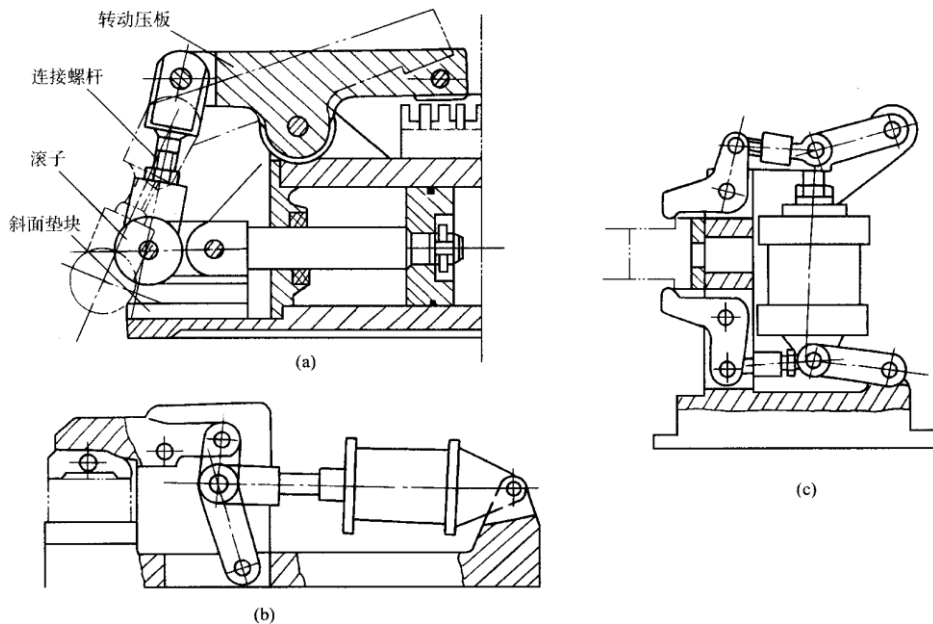


图 5—52 铰链夹紧机构

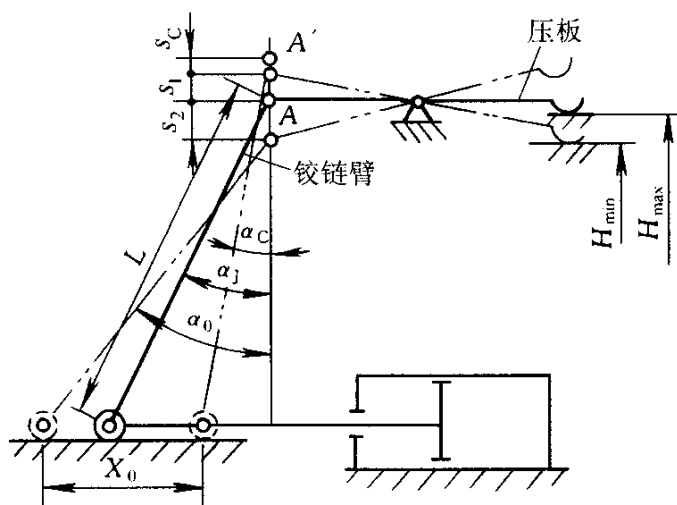


图 5—53 铰链夹紧机构工作原理图

编写者：黄曙

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                              |
|--------|--------------------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                                   |
| 课    题 | 机械加工精度                                                       |
| 教    者 | 黄    曙                                                       |
| 教案序号   | 第    11    教案                                                |
| 教学目的   | 1、了解机械加工精度的概念<br>2、掌握获得加工精度的方法<br><br>3、                     |
| 重点难点   | 1、机械加工精度的概念<br>2、获得尺寸精度的方法<br>3、获得几何形状精度的方法<br>4、获得相互位置精度的方法 |
| 作    业 | 1、P167.1<br>2、P167.2                                         |
| 复    习 |                                                              |
| 导    入 |                                                              |
| 后    记 |                                                              |

## 第六章 机械加工质量

机器的质量决定了机器的工作性能和使用寿命，而零件的加工质量是整台机器质量的基础。零件的加工质量指标包括加工精度和加工表面质量。

### 第一节 机械加工精度

通过不断地提高产品的加工质量，提高其使用效能和使用寿命，来达到最大限度地降低废品和次品率，提高产品的合格率，以及最大限度地节约材料和人力的消耗，是机械制造业和一切加工工业必须遵循的原则。

#### 一、机械加工精度的概念

机械加工精度是指零件加工后的实际几何参数(尺寸、形状和相互位置)与理想几何参数的符合程度。它包括尺寸精度、宏观几何形状精度和位置精度。实际几何参数与理想几何参数的偏离程度称为加工误差。加工精度和加工误差是从不同角度来评定零件几何参数准确程度的，加工精度的高与低是用加工误差的小与大来描述的。亦即通常用公差值的大小或公差等级表示对零件的机械加工精度要求。

在生产实践可以得到证明，任何一种加工方法无论多么精密，都不可能把零件加工得绝对准确，与理想的完全一致。即使加工条件完全相同，加工出来的零件几何参数也不可能完全一样。从实际出发，也没有必要把每个零件的几何参数都加工得绝对准确，只要其误差值不影响机器的使用性能就行。把零件的加工误差保持在一定范围之内是完全允许的。

加工精度是评定零件质量的一项重要指标。零件有关表面的尺寸精度、形状精度和相互位置精度之间是互相联系的。通常，形状误差应该限制在位置公差内，位置误差应该限制在尺寸公差内。一般情况下，尺寸精度高，相应的形状和位置精度也高。但有些特殊功用的零件，如检验平板，其工作面的平面度(形状精度)要求很高，但该平面与底面的尺寸要求(尺寸精度)和平行度要求(位置精度)却很低。

#### 二、获得加工精度的方法

##### 1. 获得尺寸精度的方法

(1) 试切法 试切法是通过试切—测量—调整刀具一再试切，反复进行，直至符合规定的尺寸，然后以此尺寸切出加工的表面。这种方法达到的精度可能很高，但比较费时，效率较低，且依赖操作者的技术水平，故只用于单件小批生产。

(2) 调整法 调整法是按图样规定的尺寸和形状，预先调整好机床、刀具、夹具与工件的相对位置，经过试加工测量合格后，再连续成批加工工件。这种方法加工精度稳定性好，生产率高，适用于成批大量生产。

(3) 尺寸刀具法 尺寸刀具法是用具有一定形状和尺寸精度的刀具对工件进行加工，以保证工件被加工部位尺寸的方法。如用麻花钻、铰刀、拉刀、丝锥、板牙等刀具加工以获得规定的尺寸精度。这种方法所得到的加工精度与刀具的制造精度及磨损有很大的关系，生产效率高，应用广泛。

(4) 自动控制法 自动控制法是在加工过程中，采用专门的测量装置自动测量工件的尺寸，并控制工件尺寸精度的方法。这种方法能直观地反映出加工过程中，工

件所达到的尺寸精度，并能控制自动退刀和停止切削。

## 2. 获得几何形状精度的方法

(1) 单刃刀具成形法 单刃刀具成形法是依靠刀具和工件的相对运动轨迹来获得工件形状的。如图 6—1 所示，图 6—1a 是利用工件的旋转和刀具的纵、横两个方向的直线运动合成来车削成形表面；图 6—1b 是利用刨刀的纵向直线运动和工件的横向进给运动来刨削平面。

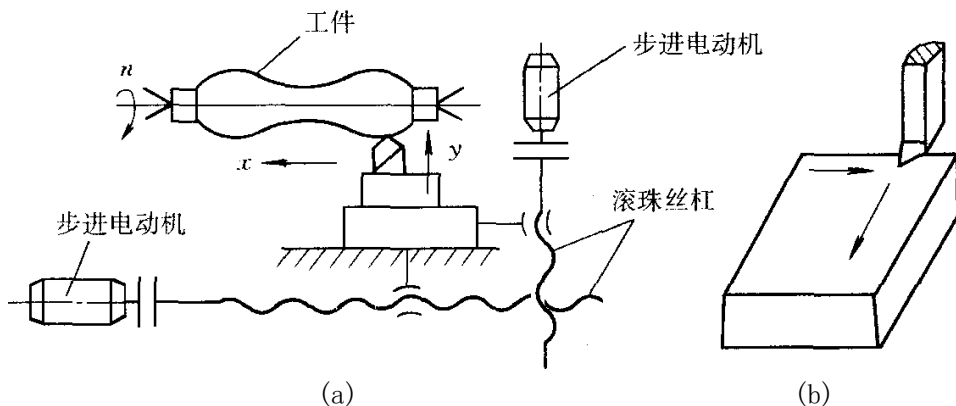


图 6—1 用单刃刀具成形法获得工件形状

(2) 成形刀具成形法 成形刀具成形法是用成形刀具加工工件的成形表面以得到所要求的形状精度的方法。这种方法可以简化机床结构，提高生产效率，其加工精度主要取决于刀刃的形状精度。

(3) 复杂刀具展成法 复杂刀具展成法是利用工件和刀具作展成切削运动进行加工的方法。用展成法加工，刀具除具有切削运动以外，还要相对工件作相应的啮合运动(展成运动)，工件被加工表面是刀刃在相应啮合运动中的包络面。主要用于各种齿轮齿廓、花键键齿、蜗轮轮齿的加工。

## 3. 获得相互位置精度的方法

(1) 一次装夹法 一次装夹法是对有位置精度要求的零件各相关表面在同一次安装中加工出来。精度的高低取决于机床的运动精度。如车削端面与轴线的垂直度和中拖板的运动精度有关。

(2) 多次装夹法 多次装夹法是指零件在加工时，虽经多次安装，但其相关表面的位置精度是由加工表面与定位基准面之间的位置精度决定的。因此，要获得各相关表面之间的位置精度就必须保证机床、夹具及工件的定位精度。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                             |
|--------|-------------------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                                  |
| 课    题 | 影响加工精度的主要因素(一)                                              |
| 教    者 | 黄    曙                                                      |
| 教案序号   | 第    12    教案                                               |
| 教学目的   | 1、工艺系统的几何误差<br>2、工艺系统受力变形对加工精度的影响<br>3、                     |
| 重点难点   | 1、原理误差<br>2、刀具误差<br>3、切削力作用点位置变化引起的加工误差<br>4、切削力大小变化引起的加工误差 |
| 作    业 | 1、P167.3<br>2、P167.4<br>3、P167.5                            |
| 复    习 |                                                             |
| 导    入 |                                                             |
| 后    记 |                                                             |

## 第二节 影响加工精度的主要因素

造成零件加工后在尺寸、形状或位置方面加工误差的工艺因素称为原始误差。在机械加工中，由于工艺系统各种原始误差的存在，如机床、刀具、夹具的制造及磨损误差、工件的装夹误差、测量误差、工艺系统的调整误差以及加工中的各种力和热所引起的误差等，使工件与刀具之间正确的相互位置关系遭到破坏而产生加工误差。这些原始误差，其中一部分与工艺系统的结构状况有关，一部分与切削过程的物理因素变化有关。可以归纳为以下几个方面。

### 一、工艺系统的几何误差

#### 1. 原理误差

原理误差是指采用了近似的成形运动或近似的刀刃轮廓进行加工而产生的误差。例如，用滚刀加工渐开线齿轮时，就有两种误差存在：一是由于制造上的困难，采用阿基米德蜗杆或法向直廓蜗杆代替渐开线蜗杆，而导致刀刃轮廓近似造成误差；二是由于滚刀刀齿数有限，导致实际加工出的齿廓是一条折线，与理论上的光滑渐开线有差异。

采用近似的成形运动或刀刃轮廓，尽管会有加工原理误差产生，但往往可以简化机床和刀具的结构，反而有利于保证加工精度，并且能提高生产率和经济性。

#### 2. 机床误差

机床的制造误差、安装误差及使用中的磨损等，都会在加工中直接影响刀具与工件之间的相互位置精度，造成加工误差。主要有如下几种误差：

(1) 主轴回转运动误差 主轴回转运动误差是指主轴实际回转轴线相对理论回转轴线的偏离程度。它包括三种基本形式：轴向窜动、径向跳动和角度摆动(图 6—2a、b、c)。实际上，这三种基本形式往往是同时存在的，如图 6—2d 所示。

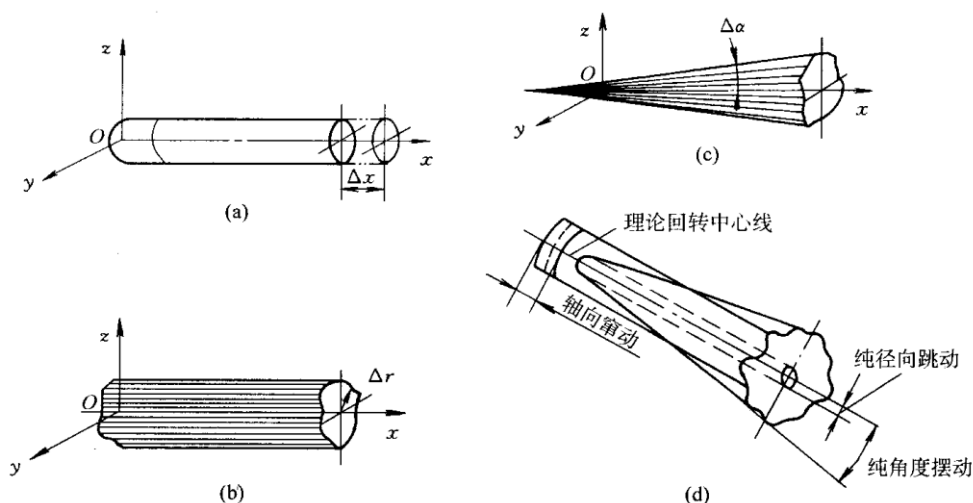


图 6—2 主轴回转误差的基本形式

机床主轴是安装工件或刀具的基准，并把动力和运动传递给工件或刀具，因此，主轴回转精度是机床的重要精度指标之一。它是决定加工表面几何形状精度、表面波度和表面粗糙度的主要因素。

(2) 导轨导向误差 导轨在机床中起导向和承载作用。它既是确定机床主要部件相对位置的基准，又是运动的基准。其制造和装配精度是影响直线运动精度的主要因素，并直接反映到零件的加工精度上。

① 导轨在水平面内的直线度误差 这种误差如图 6-3 中的  $\Delta_1$ 。对于普通车床和外圆磨床，它将直接反映在工件已加工表面的法线方向上，对加工精度影响很大，使工件产生圆柱度误差。

② 导轨在垂直平面内的直线度误差 这种误差如图 6—3 中的  $\Delta_2$ 。对普通车床和外圆磨床，它发生在工件已加工表面的切线方向上，对零件的形状精度影响不大。但对平面磨床、刨床、铣床，它将引起工件的法向位移，造成形状误差。

③ 导轨面间的平行度误差 如图 6—4 所示，车床两导轨的平行度产生误差  $\Delta$  (扭曲)，使大拖板产生横向倾斜，刀具产生位移，因而引起工件的形状误差。

机床的安装对导轨的原有精度影响很大。尤其是床身较长的龙门刨床、导轨磨床等，因导轨长，刚性差，并在本身自重的作用下容易产生变形，如果安装不正确或地基不坚实，都会导致导轨产生较大的变形，使工件的加工精度受到影响。

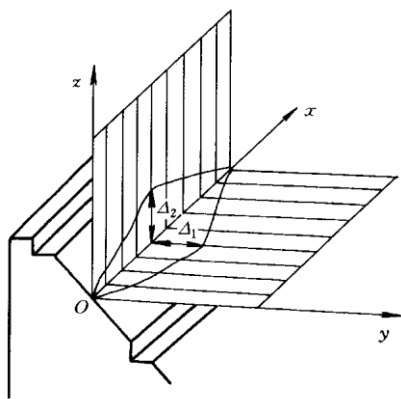


图 6—3 导轨直线度误差

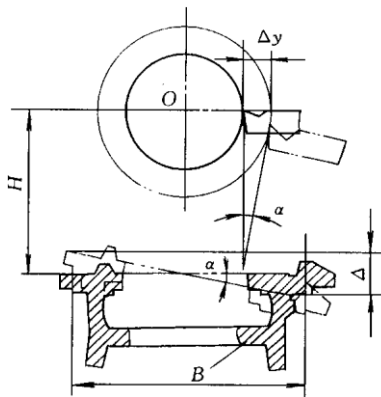


图 6—4 导轨面间的平行度误差

(3) 机床的传动误差 机床的传动误差是指实现机床切削运动的传动机构本身的制造误差、安装误差和工作中的磨损，引起切削运动的不准确程度。图 6—5 所示为 Y38 型滚齿机的传动链图，影响传动误差最大的环节是工作台下面的分度蜗杆副，因为它们的传动比为 1: 96。在蜗杆副以前各环节的传动误差，经蜗杆副以后就只有原来的 1 / 96 了，而分度蜗轮的转角误差则将 1: 1 的直接反映到工件上，所以，要尽量提高蜗杆副的精度。

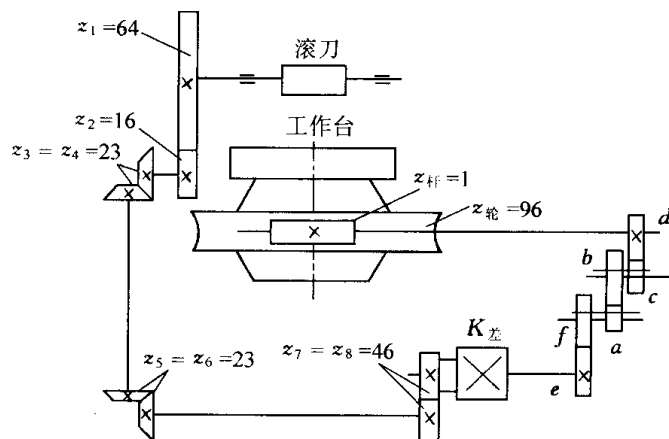


图 6—5 Y38 型滚齿机传动链图

### 3. 刀具误差

刀具误差是指刀具的制造误差和尺寸磨损，不同的刀具的种类对工件加工精度的影响有所不同。

一般刀具(如普通车刀、刨刀、单刃镗刀、平面铣刀等)的制造误差，其本身对工件加工精度没有直接影响。但当这些刀具与工件之间的相对位置调整后，在加工过程中，刀具的磨损将会影响加工精度。

成形刀具(如成形车刀、成形铣刀、成形砂轮、齿轮刀具等)的制造误差和尺寸磨损，都会影响工件的形状精度和尺寸精度。

定尺寸刀具(如钻头、铰刀、丝锥、键槽铣刀等)的制造误差和尺寸磨损，均会影响工件的尺寸精度。刀具安装不正确、刃磨不对称，也会影响工件的尺寸精度。

### 4. 夹具误差

夹具误差是指夹具的定位元件、导向元件及夹具体等的加工和装配误差。首先，它对被加工零件的位置误差影响很大，其次是影响尺寸误差和形状误差。夹具的磨损是缓慢的，故其磨损对加工误差的影响不太明显，但夹紧变形会造成工件的加工误差。

### 5. 调整误差

在机械加工的每一道工序中，总是要对工艺系统进行调整，但调整总不可能绝对准确，它所带来的一些原始误差，即调整误差。

加工中，因工件的生产批量和加工精度的不同，其调整方法也不同。如大量生产时，常用样件、样板、靠模等调整工艺系统；单件小批生产时，则多采用试切法来调整。不同的调整方法，误差来源不相同。

(1) 试切法调整 试切法调整的误差来源有：

①测量误差 测量工具的制造误差、读数误差及测量温度、测量力的变化所引起的误差。

②进给机构的位移误差 在试切中，由于低速微量进给，常会出现进给机构的“爬行”现象，其结果是实际进给量比转动刻度盘的数值要偏大或偏小些，造成加

工误差。

③最小切削厚度极限的影响 精加工时，试切的最后一刀余量总是很小的，当达到切削厚度的极限值时，则刀具只起挤压而不起切削作用。但正式切削时，加工余量较大，刀具正常切削，因此，工件尺寸就与试切时不同，产生了尺寸误差。

## (2)用调整法调整

①用定程机构调整 在半自动机床、自动机床和自动线上，广泛采用行程挡块、靠模、凸轮等机构来保证加工精度。这些机构的制造精度和刚度，以及与之配合使用的离合器、控制阀等的灵敏度，就是影响调整误差的主要原因。

②用样件或样板调整 在各种仿形机床、多刀机床和专用机床加工中，常采用样件或样板来调整刀具、机床与工件之间的相对位置。此时，样件或样板的制造误差、安装误差和对刀误差就是调整误差的主要来源。

## 二、工艺系统受力变形对加工精度的影响

加工后的零件在尺寸、形状或位置方面与理想零件的差值称为加工误差。

在机械加工中，工艺系统在切削力、夹紧力、传动力、惯性力及重力等作用下，会产生相应的变形(弹性变形和塑性变形)，由此导致刀具与工件之间已调整好的正确位置关系被破坏，从而引起加工误差。

### 1. 切削力作用点位置变化引起的加工误差

在切削过程中，工艺系统的刚度随切削力作用点位置的变化而变化，从而引起工艺系统变形的不断变化，使已加工表面产生几何形状误差。例如车削细长轴时，工件在切削力的作用下产生弯曲变形，而且变形的程度随走刀位置的变化而变化，加工后会出现圆柱度误差形成鼓形，如图 6—6 所示。

### 2. 切削力大小变化引起的加工误差

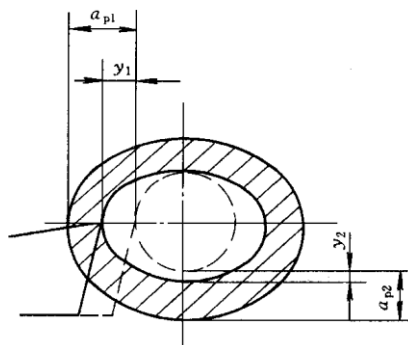
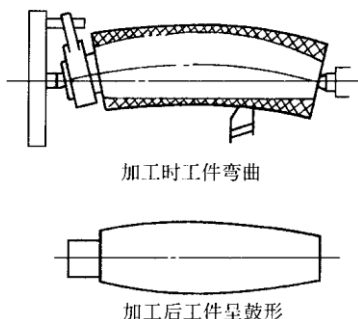


图 6—6 切削力作用点位置变化引起的加工误差 图 6-7 零件形状误差的复映

在切削过程中，由于被加工表面的几何形状误差和材质的不均匀，而引起切削力的变化，导致工件的加工误差。如图 6—7 所示，由于毛坯的圆度误差，使车削时刀具的背吃刀量在  $a_{p1}$  和  $a_{p2}$  之间变化，因此，背向力  $F_p$  也随背吃刀量的变化由  $F_{pmax}$  变到  $F_{pmin}$ ，致使工艺系统产生相应的变形(即由  $y_1$  变到  $y_2$ )，也就使得已加工表面形成了圆度误差，这种现象称为“误差复映”。

### 3. 惯性力和传动力引起的加工误差

在高速旋转切削质量不平衡工件时，离心力  $F_Q$  和背向力  $F_P$  的方向，有时相同，有时相反，使工件产生圆度误差  $P$ ，如图 6—8 所示。

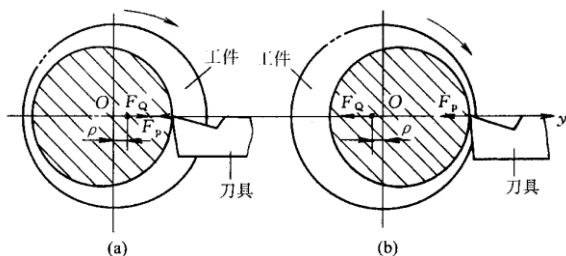


图 6—8 惯性力引起的加工误差

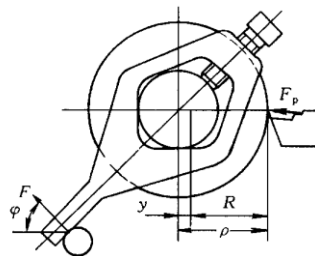


图 6—9 单爪拨盘传动力的影响

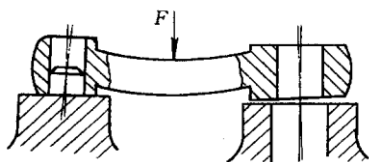


图 6-10 着力点不当引起的加工误差

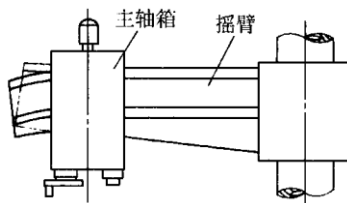


图 6-11 自重引起的加工误差

在车床或磨床上加工轴类零件时，常用单爪拨盘带动工件旋转。传动力  $F$  在拨盘的每一转中，经常改变方向，有时和背向力同向，有时反向，因此，它也会造成工件的圆度误差，如图 6—9 所示。

#### 4. 夹紧力和重力引起的加工误差

工件在装夹过程中，由于工件刚度较低或夹紧力  $F$  的着力点不当，将会引起工件变形，造成加工误差，如图 6—10 所示。

在工艺系统中，因零部件自重也会引起变形，造成加工误差。如图 6—11 所示为摇臂钻床的摇臂在主轴箱自重的作用下，所产生的变形。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                                |
|--------|----------------------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                                     |
| 课    题 | 影响加工精度的主要因素(二)                                                 |
| 教    者 | 黄    曙                                                         |
| 教案序号   | 第    13    教案                                                  |
| 教学目的   | 1、工艺系统的热变对加工精度的影响<br>2、工件的内应力<br>3、                            |
| 重点难点   | 1、机床热变形引起的加工误差<br>2、工件热变形引起的加工误差<br>3、刀具热变形引起的加工误差<br>4、工件的内应力 |
| 作    业 | 1、P167.6<br>2、P167.7                                           |
| 复    习 |                                                                |
| 导    入 |                                                                |
| 后    记 |                                                                |

### 三、工艺系统的热变对加工精度的影响

在机械加工中，工艺系统在各种热源的作用下，可能产生局部的伸缩、扭曲、弯曲等变形，从而引起工件与刀具之间的相对位置和相对运动关系的变化，造成加工精度的降低。在精密加工中，热变形引起的加工误差约占总加工误差的 40~70%。热变形不仅降低了系统的加工精度，而且还会降低加工效率。

#### 1. 工艺系统的热源

工艺系统的热源大致分为内部热源和外部热源两大类。内部热源包括加工热和摩擦热，加工热又分为切削热和磨削热；外部热源包括环境温度和辐射热和人体温度。

#### 2. 机床热变形引起的加工误差

机床受热源的影响，各部分温度将发生变化，因热源分布的不均匀性和机床结构的复杂性，使机床各部件产生不同程度的热变形，破坏了机床原有的几何精度，从而造成加工误差。

不同类型的机床因其结构和工作条件的差异，而使热源和变形形式各不相同。磨床的热变形对加工误差的影响较大，一般外圆磨床的主要热源是砂轮主轴的摩擦热和液压系统的发热；而车、铣、钻、镗等机床的主要热源则是主轴箱内轴承、齿轮、离合器等传动副的摩擦引起发热，导致主轴及与它连接部分的床身温度升高，而产生热变形。图 6—12 所示为几种机床的热变形趋势。

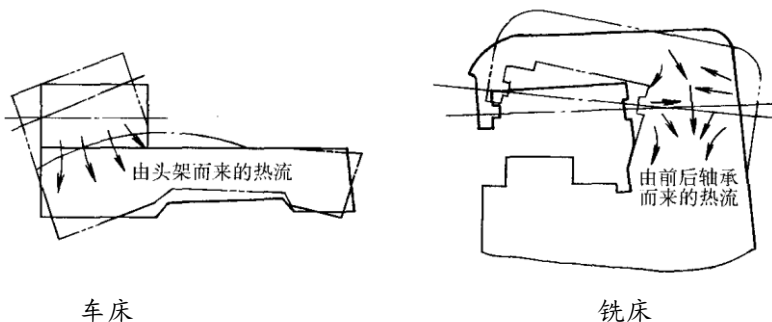
#### 3. 工件热变形引起的加工误差

工件的热变形主要是切削热引起的。热变形情况与加工方法和受热是否均匀有关。在车、磨外圆时，工件均匀受热而产生热伸长，当工件能够自由伸长时，工件的热变形主要影响尺寸精度，否则，还会产生圆柱度误差。加工螺纹时由于工件热变形将产生螺距误差。

当工件进行铣削、刨削、磨削等平面加工时，工件单面受热，上下表面温升不等，从而导致工件产生中凸变形，加工冷却后，致使已加工表面呈中凹形。

#### 4. 刀具热变形引起的加工误差

在切削过程中，有部分切削热传给刀具，虽然热量很少，但因刀具体积小，热容量小，刀具的温升却很高，从而引起刀具热伸长变形，造成加工误差。当刀具连续切削时，传给刀具的切削热随时间不断增加，刀具的热伸长量逐渐增加，使工件产生圆柱度误差。



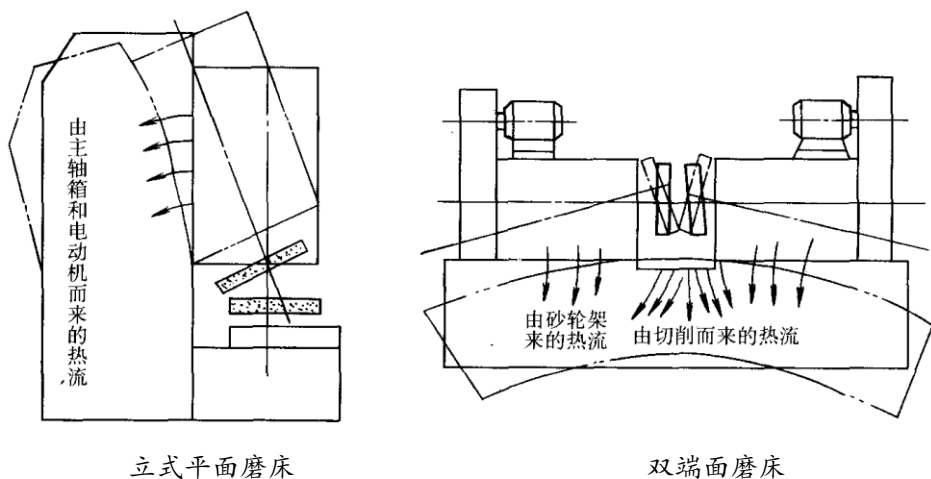


图 6—12 常用机床的热变形趋势

#### 四、工件的内应力

工件在铸造、锻造、焊接及切削加工之后，内部存在的各种内应力(也称残余应力)处于暂时平衡，可以保持形状的暂时稳定。但只要外界条件发生变化(如环境温度变化、继续切削加工、受到撞击等)，内应力的暂时平衡就会被打破而重新分布，致使工件在平衡重组中产生变形，甚至出现裂纹。内应力是造成加工误差的一个隐患，必须予以重视。

##### 1. 毛坯制造中产生的内应力

在铸、锻、焊及热处理等毛坯的热加工中，由于毛坯各部分受热不均匀或冷却速度不等，以及金相组织的转变都会引起其体积的不均匀变化，从而在其内部产生较大的内应力。毛坯结构越复杂，壁厚相差越大，散热条件差别越大，则毛坯内部产生的内应力也越大。图 6—13a 所示为内外截面壁厚不同的铸件，当铸件冷却时，由于壁 1 和壁 2 较薄，散热较快，而壁 3 较厚，散热较慢。当壁 1 和壁 2 从塑性状态冷却到低温弹性状态时，壁 3 尚处在高温塑性状态。这时，壁 1 和壁 2 在冷却收缩时并未受到壁 3 的阻碍，铸件内部不会产生内应力。但当壁 3 冷却到弹性状态时，壁 1 和壁 2 已冷却至更低温度，故壁 3 的冷却收缩必将受到壁 1 和壁 2 的阻碍，使壁 3 内部产生拉应力，而壁 1 和壁 2 内部则受到压应力，拉应力和压应力处于相对平衡的状态，由于铸件结构对称，不发生弯曲变形。此时，若在壁 2 处开一缺口，如图 6—13b 所示，则壁 2 处的压应力消失，这时在壁 1 和壁 3 处内应力的作用下，

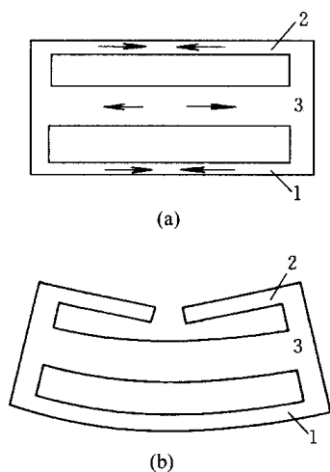


图 6—13 铸件内应力引起的变形

壁 3 收缩，壁 1 伸长，工件产生弯曲变形，直至内应力重新组合到新的相对平衡状态为止。

### 2. 冷校直产生的内应力

细长的轴类零件(如丝杠、曲轴等)在加工和运输转移中很容易产生弯曲变形，常采用冷校直的方法使之变直。如图 6—14 所示，一根无内应力但向上弯曲的长轴，当中部受到载荷  $F$  作用时，其轴心线以上将产生压应力，轴心线以下将产生拉应力(图 6—14b)，两条虚线之间为弹性变形区，虚线之外为塑性变形区。当卸掉载荷后，工件的弹性恢复将受到塑性变形区的阻碍，致使内应力重新分布(图 6—14c)。可见，工件经冷校直后，内部产生的内应力处于不稳定状态，若再进行切削加工，工件将重新产生弯曲变形。

### 3. 切削加工产生的内应力

在切削加工形成的力和热的作用下，使被加工表面产生内应力。在切削力的作用下，使工件表层产生压应力，里层产生拉应力；而在切削热的作用下，使工件表层产生拉应力，里层产生压应力。在大多数情况下，切削热的影响大于切削力的影响。

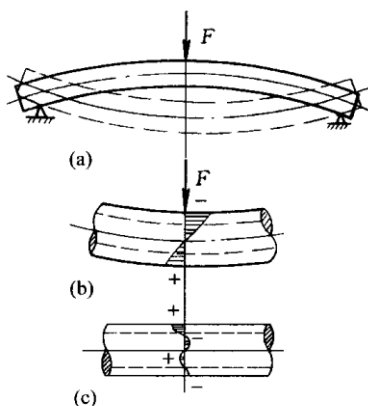


图 6—14 校直引起的内应力

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                     |
|--------|-----------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                          |
| 课    题 | 经济精度和经济表面粗糙度                                        |
| 教    者 | 黄    曙                                              |
| 教案序号   | 第    14    教案                                       |
| 教学目的   | 1、经济精度<br>2、常用加工方法所能达到的经济精度<br>3、常用加工方法能达到的表面粗糙度    |
| 重点难点   | 1、经济精度的理解<br>2、常用加工方法所能达到的经济精度<br>3、常用加工方法能达到的表面粗糙度 |
| 作    业 | 1、P167.8<br>2、                                      |
| 复    习 |                                                     |
| 导    入 |                                                     |
| 后    记 | 本节内容表格很多，重在指导学生学会利用表格，记忆一些常用数据，用不着全部死记。             |

### 第三节 经济精度和经济表面粗糙度

不同的机械加工机床有各自不尽相同的用途，它们所能达到的加工精度和表面粗糙度也是不同的。即使是同一种加工方法，使用同一台机床，由于操作者技术水平、刀具刃磨质量、机床调整质量和切削用量的不同，所得到的加工精度和表面粗糙度也会有很大的差别。例如，精车加工一般为 IT10~IT9 级精度，若由高级技师进行精细加工也可能为 IT7~IT6 级精度，但工件的加工成本也提高了许多。

#### 一、经济精度

据统计，任何一种加工方法的加工误差与加工成本之间的关系，可用图 6—15 所示曲线表示。这条曲线可以分成三段。

AB 段：加工误差小精度高，但成本太高，不经济适用。

CD 段：曲线与横坐标几乎平行，说明加工精度很低，但加工成本不能无限制下降，它必须消耗这种加工方法所要求的最低成本，既不经济，更难以保证质量。

BC 段：既可达到一定的加工精度，又不会使成本过高，所以经济适用。

经济精度是指每种加工方法在正常生产条件(完好的设备、使用必要的刀具和夹具、操作者具有熟练的技术、合理的定额工时)下，能较经济地达到的加工精度范围。

经济精度是由几种不同加工方法相互比较的结果。如图 6—16 所示为车、磨外圆加工成本的比较，可见，当零件的加工误差小于 $\Delta A$ 时，采用磨削比较经济；而当零件的加工误差大于 $\Delta A$ 时，则采用车削比较经济。 $\Delta A$ 就是磨削加工经济精度的下限，同时也是车削加工经济精度的上限。加工经济精度也不是一成不变的，它随着工艺技术的发展，设备和工艺装备的改进而变化。

经济表面粗糙度的概念与加工经济精度类似。

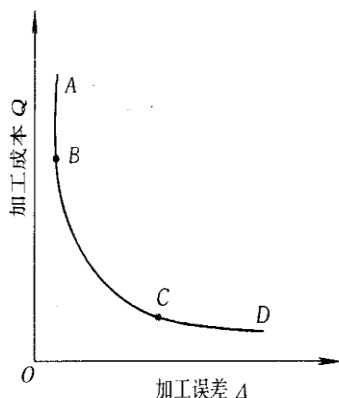


图 6—15 加工成本与加工误差关系曲线

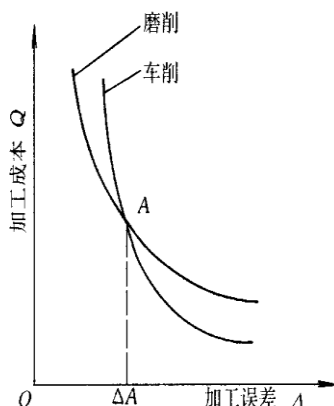


图 6—16 车、磨外圆加工成本的比较

#### 二、常用加工方法所能达到的经济精度

##### 1. 常用加工方法所能达到的尺寸经济精度

常用加工方法加工外圆柱表面、圆柱形孔、平面、齿形和普通螺纹的尺寸经济

## 沅江市职业中专机械加工技术教案

精度见表 6—1～表 6—5。

表 6—1 外圆柱表面加工尺寸经济精度

| 公称直径     | 车         |                   |     |     |     | 磨        |     |    |    |                 | 研磨  | 用钢珠或滚柱工具<br>滚压 |    |    |  |
|----------|-----------|-------------------|-----|-----|-----|----------|-----|----|----|-----------------|-----|----------------|----|----|--|
|          | 粗         | 半 精 或<br>一<br>次加工 |     | 精   |     | 一次<br>加工 | 粗   | 精  |    |                 |     |                |    |    |  |
|          |           |                   |     |     |     |          |     |    |    |                 |     |                |    |    |  |
|          |           |                   |     |     |     |          |     |    |    |                 |     |                |    |    |  |
|          |           |                   |     |     |     |          |     |    |    | 加工的公差等级和偏差值 μ m |     |                |    |    |  |
| 13~12    | 12        | 11                | 10  | 9   | 7   | 9        | 7   | 6  | 5  | 10              | 9   | 7              | 6  |    |  |
| >1~3     | 120       | 120               | 60  | 40  | 20  | 9        | 20  | 9  | 6  | 4               | 40  | 20             | 9  | 6  |  |
| >3~6     | 160       | 160               | 80  | 48  | 25  | 12       | 25  | 12 | 8  | 5               | 48  | 25             | 12 | 8  |  |
| >6~10    | 200       | 200               | 100 | 58  | 30  | 15       | 30  | 15 | 10 | 6               | 58  | 30             | 15 | 10 |  |
| >10~18   | 240       | 240               | 120 | 70  | 35  | 18       | 35  | 18 | 12 | 8               | 70  | 35             | 18 | 12 |  |
| >18~30   | 280       | 280               | 140 | 84  | 45  | 21       | 45  | 21 | 14 | 9               | 84  | 45             | 21 | 14 |  |
| >30~50   | 620—340   | 340               | 170 | 100 | 50  | 25       | 50  | 25 | 17 | 11              | 100 | 50             | 25 | 17 |  |
| >50~80   | 740—400   | 400               | 200 | 120 | 60  | 30       | 60  | 30 | 20 | 13              | 120 | 60             | 30 | 20 |  |
| >80~120  | 870—460   | 460               | 230 | 140 | 70  | 35       | 70  | 35 | 23 | 15              | 140 | 70             | 35 | 23 |  |
| >120~180 | 1 000~530 | 530               | 260 | 160 | 80  | 40       | 80  | 40 | 27 | 18              | 160 | 80             | 40 | 27 |  |
| >180~260 | 1 150~600 | 600               | 300 | 185 | 90  | 47       | 90  | 47 | 30 | 20              | 185 | 90             | 47 | 30 |  |
| >260~360 | 1 350~680 | 680               | 340 | 215 | 100 | 54       | 100 | 54 | 35 | 22              | 215 | 100            | 54 | 35 |  |
| >360~500 | 1 550~760 | 760               | 380 | 250 | 120 | 62       | 120 | 62 | 40 | 25              | 250 | 120            | 62 | 40 |  |

表 6—2 圆柱形孔加工尺寸经济精度

| 公称<br>直径<br><br>/mm | 钻及扩钻孔          |     |     |     | 扩    孔 |        |     |     | 铰    孔 |     |     |    |    |    |     | 拉孔              |  |
|---------------------|----------------|-----|-----|-----|--------|--------|-----|-----|--------|-----|-----|----|----|----|-----|-----------------|--|
|                     | 无钻模            |     | 有钻模 |     | 粗扩     | 铸孔或冲粗扩 |     |     | 粗铰     |     | 半精铰 |    | 精铰 |    |     | 粗拉铸<br>孔<br>或冲孔 |  |
|                     |                |     |     |     |        | 孔后一次或  |     |     |        |     |     |    |    |    |     |                 |  |
|                     | 扩孔             |     |     |     |        | 钻后精扩   |     |     |        |     |     |    |    |    |     |                 |  |
|                     | 加工的公差等级和偏差值 μm |     |     |     |        |        |     |     |        |     |     |    |    |    |     |                 |  |
|                     | 12             | 11  | 12  | 11  | 12     | 12     | 11  | 10  | 11     | 10  | 9   | 8  | 7  | 6  | 11  | 10              |  |
| 1~3                 | —              | 60  | —   | 60  | —      | —      | —   | —   | —      | —   | —   | —  | —  | —  | —   | —               |  |
| >3~6                | —              | 80  | —   | 80  | —      | —      | —   | —   | 80     | 48  | 25  | 18 | 13 | 8  | —   | —               |  |
| >6~10               | —              | 100 | —   | 100 | —      | —      | —   | —   | 100    | 58  | 30  | 22 | 16 | 9  | —   | —               |  |
| >10~18              | 240            | —   | —   | 120 | 240    | —      | 120 | 70  | 120    | 70  | 35  | 27 | 19 | 11 | —   | —               |  |
| >18~30              | 280            | —   | —   | 140 | 280    | —      | 140 | 84  | 140    | 84  | 45  | 33 | 23 | —  | —   | —               |  |
| >30~50              | 340            | —   | 340 | —   | 340    | 340    | 170 | 100 | 170    | 100 | 50  | 39 | 27 | —  | 170 | 100             |  |

编写者：黄曙

## 沅江市职业中专机械加工技术教案

| 公称直径     | 钻及扩钻孔            |    |     |    | 扩 孔 |            |     |     | 铰 孔 |     |     |    |    |   |         |     | 拉孔 |  |
|----------|------------------|----|-----|----|-----|------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|---|---------|-----|----|--|
|          | 无钻模              |    | 有钻模 |    | 粗扩  | 铸孔或冲孔后一次扩孔 |     | 粗扩  | 粗铰  |     | 半精铰 |    | 精铰 |   | 粗拉铸孔或冲孔 |     |    |  |
|          |                  |    |     |    |     | 粗扩         |     |     |     |     |     |    |    |   |         |     |    |  |
|          | 加工的公差等级和偏差值/ μ m |    |     |    |     |            |     |     |     |     |     |    |    |   |         |     |    |  |
|          | 12               | 11 | 12  | 11 | 12  | 12         | 11  | 10  | 11  | 10  | 9   | 8  | 7  | 6 | 11      | 10  |    |  |
| >50~80   | -                | -  |     | -  | -   |            | 200 | 120 | 200 | 120 | 60  | 46 | 30 | - | 200     | 120 |    |  |
| >80~120  | -                | -  | 400 | -  | 400 | 400        | 230 | 140 | 230 | 140 | 70  | 54 | 35 | - | 230     | 140 |    |  |
| >120~180 | -                | -  | —   | -  | -   |            | —   | -   | 260 | 160 | 80  | 63 | 40 | - | 260     | 160 |    |  |
| >180~260 | -                | -  | —   | -  | 460 | 460        | —   | —   | 300 | 185 | 90  | 73 | 45 | - | —       | -   |    |  |
| >260~360 | -                | -  | -   | -  | -   | —          | -   | -   | 340 | 215 | 100 | 84 | 50 | - | —       | -   |    |  |
| >360~500 | -                | -  | —   | -  | -   | —          | —   | —   | —   | —   | —   | —  | —  | - | —       | —   |    |  |

| 公称直径     | 拉孔              |    |    | 镗 孔 |     |     |     |    |    | 磨孔 |         |    |    | 用钢珠、挤压杆 |     |     |    |    |
|----------|-----------------|----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|---------|----|----|---------|-----|-----|----|----|
|          | 粗拉孔后或           |    |    | 粗   | 半精  | 精   |     | 细  |    | 粗  | 精       |    | 研磨 | 校准，用钢珠或 |     |     |    |    |
|          | 钻孔后精拉机          |    |    |     |     |     |     |    |    |    | 滚柱扩孔器挤孔 |    |    |         |     |     |    |    |
|          | 加工的公差等级和偏差值 μ m |    |    |     |     |     |     |    |    |    |         |    |    |         |     |     |    |    |
|          | 9               | 8  | 7  | 12  | 11  | 10  | 9   | 8  | 7  | 6  | 9       | 8  | 7  | 6       | 10  | 9   | 8  | 7  |
| 1~3      | -               | -  | -  | -   | -   | -   | -   | -  | -  | -  | -       | -  | -  | -       | -   | -   | -  | —  |
| >3~6     | -               | —  | —  | —   | —   | —   | —   | —  | —  | -  | —       | —  | —  | -       | —   | —   | —  | —  |
| >6~10    | —               | —  | —  | —   | —   | —   | —   | —  | —  | —  | —       | —  | —  | —       | —   | —   | —  | -  |
| >10~18   | 35              | 27 | 19 | 240 | 120 | 70  | 35  | 27 | 19 | 11 | 35      | 27 | 19 | 11      | 70  | 35  | 27 | 19 |
| >18~30   | 45              | 33 | 23 | 280 | 140 | 84  | 45  | 33 | 23 | 13 | 45      | 33 | 23 | 13      | 84  | 45  | 33 | 23 |
| >30~50   | 50              | 39 | 27 | 340 | 170 | 100 | 50  | 39 | 27 | 15 | 50      | 39 | 27 | 15      | 100 | 50  | 39 | 27 |
| >50~80   | 60              | 46 | 30 | 400 | 200 | 120 | 60  | 46 | 30 | 18 | 60      | 46 | 30 | 18      | 120 | 60  | 46 | 30 |
| >80~120  | 70              | 54 | 35 | 460 | 230 | 140 | 70  | 54 | 35 | 21 | 70      | 54 | 35 | 21      | 140 | 70  | 54 | 35 |
| >120~180 | 80              | 63 | 40 | 530 | 260 | 160 | 80  | 63 | 40 | —  | 80      | 63 | 40 | 24      | 160 | 80  | 63 | 40 |
| >180~260 | -               | —  | -  | 600 | 300 | 185 | 90  | 73 | 45 | —  | 90      | 73 | 45 | 27      | 185 | 90  | 73 | 45 |
| >260~360 | -               | -  | -  | 680 | 340 | 215 | 100 | 84 | 50 | -  | 100     | 84 | 50 | 30      | 215 | 100 | 84 | 50 |
| >360~500 | -               | -  | -  | 760 | 380 | 250 | 120 | 95 | 60 | -  | 120     | 95 | 60 | 35      | 250 | 120 | 95 | 60 |

注：1. 孔加工精度与工具的制造精度有关。

2. 6 级细镗孔要采用金刚石工具。

3. 用钢珠或挤压杆校准适用于孔径 $\leq 50\text{ mm}$ 。

编写者：黄曙

表 6—3 平面加工尺寸经济精度

| 公 称 尺<br>寸<br>(高或厚) | 刨削和圆柱铣刀及套式面铣刀铣削 |     |     |     |     |     |     |    |    |     | 拉 削 |     |    |               |     | 磨 削 |     |    |              |    | 用 钢 珠<br>研 磨<br>或<br>滚 柱 工<br>具<br>滚 压 |     |    |  |  |
|---------------------|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|----|---------------|-----|-----|-----|----|--------------|----|----------------------------------------|-----|----|--|--|
|                     | 粗               |     |     | 半精或 |     | 精   |     |    | 细  |     |     | 粗拉铸 |    | 造冲压<br><br>表面 |     |     | 精拉  |    | 一次<br><br>加工 |    |                                        |     |    |  |  |
|                     |                 |     |     |     |     |     |     |    |    |     |     |     |    |               |     |     |     |    |              |    |                                        |     |    |  |  |
|                     |                 |     |     |     |     |     |     |    |    |     |     |     |    |               |     |     |     |    |              |    |                                        |     |    |  |  |
|                     |                 |     |     |     |     |     |     |    |    |     |     |     |    |               |     |     |     |    |              |    |                                        |     |    |  |  |
| 公差等级和偏差值 μm         |                 |     |     |     |     |     |     |    |    |     |     |     |    |               |     |     |     |    |              |    |                                        |     |    |  |  |
| 13                  | 12              | 11  | 12  | 11  | 10  | 9   | 7   | 6  | 11 | 10  | 9   | 7   | 6  | 9             | 7   | 9   | 7   | 6  | 5            | 10 | 9                                      | 7   |    |  |  |
| 10~18               | 430             | 240 | 120 | 240 | 120 | 70  | 35  | 18 | 12 | -   | -   | -   | -  | -             | 35  | 18  | 35  | 18 | 12           | 8  | 70                                     | 35  | 18 |  |  |
| >18~30              | 520             | 280 | 140 | 280 | 140 | 84  | 45  | 21 | 14 | 140 | 84  | 45  | 21 | 14            | 45  | 21  | 45  | 21 | 14           | 9  | 84                                     | 45  | 21 |  |  |
| >30~50              | 620             | 340 | 170 | 340 | 170 | 100 | 50  | 25 | 17 | 170 | 100 | 50  | 25 | 17            | 50  | 25  | 50  | 25 | 17           | 11 | 100                                    | 50  | 25 |  |  |
| >50~80              | 700             | 400 | 200 | 400 | 200 | 120 | 60  | 30 | 20 | 200 | 120 | 60  | 30 | 20            | 60  | 30  | 60  | 30 | 20           | 13 | 120                                    | 60  | 30 |  |  |
| >80~120             | 870             | 460 | 230 | 460 | 230 | 140 | 70  | 35 | 23 | 230 | 140 | 70  | 35 | 23            | 70  | 35  | 70  | 35 | 28           | 15 | 140                                    | 70  | 35 |  |  |
| >12~180             | 1000            | 580 | 260 | 530 | 260 | 160 | 80  | 40 | 27 | 260 | 160 | 80  | 40 | 27            | 80  | 40  | 80  | 40 | 27           | 18 | 160                                    | 80  | 40 |  |  |
| >18~260             | 1150            | 600 | 300 | 600 | 300 | 185 | 90  | 47 | 30 | 300 | 185 | 90  | 47 | 30            | 90  | 47  | 90  | 47 | 30           | 20 | 185                                    | 90  | 47 |  |  |
| >26~360             | 1350            | 680 | 340 | 680 | 340 | 215 | 100 | 54 | 35 | -   | -   | -   | -  | -             | 100 | 54  | 100 | 54 | 35           | 22 | 215                                    | 100 | 54 |  |  |
| >36~500             | 1550            | 760 | 380 | 760 | 380 | 250 | 120 | 62 | 40 | -   | -   | -   | -  | -             | 120 | 62  | 120 | 62 | 40           | 25 | 250                                    | 120 | 62 |  |  |

注：1. 适用于尺寸<1 m，结构刚性好的零件加工；用光洁的加工表面作为定位基准和测量基准。

2. 套式面铣刀铣削的加工精度在相同的条件下大体上比圆柱铣刀铣削高一级。

3. 细铣仅用于套式面铣刀铣削。

表 6—4 齿形加工的精度等级

| 加工方法   |                            |             |      | GB/T10095<br>--1988 |                            | 加工方法 |      | GB/T 10095—<br>1988 |  |
|--------|----------------------------|-------------|------|---------------------|----------------------------|------|------|---------------------|--|
| 滚<br>齿 | 单头滚刀<br><br>m=1--20 mm     | 滚刀精度等级: AA  | 6~7  | 磨<br>齿              | 成形砂轮仿形法                    | 5~6  |      |                     |  |
|        |                            | A           | 8    |                     | 盘形砂轮范成法                    | 3~6  |      |                     |  |
|        |                            | B           | 9    |                     | 双盘形砂轮范成法(马格法)              | 3~6  |      |                     |  |
|        |                            | C           | 10   |                     | 蜗杆砂轮范成法                    | 4~6  |      |                     |  |
|        | 多头滚刀                       | (m=1~20 mm) | 8~10 | 模数铣刀铣齿              |                            |      | 9级以下 |                     |  |
| 插<br>齿 | 圆盘形插齿刀<br><br>fm=1--20 mm) | 插齿刀等级AA     | 6    | 用铸铁研磨轮研齿            |                            |      | 5~6  |                     |  |
|        |                            | A           | 7    | 直齿锥齿轮刨齿             |                            |      | 8    |                     |  |
|        |                            | B           | 8    | 螺旋齿锥齿轮刀盘铣齿          |                            |      | 8    |                     |  |
| 剃<br>齿 | 圆盘形剃齿刀<br><br>(m=1~20 mm)  | 剃齿刀精度等级A    | 5    | 蜗轮模数滚刀滚蜗轮           |                            |      | 8    |                     |  |
|        |                            | B           | 6    | 热<br>轧              | 热轧齿轮 (m=2~8 mm)<br>轧后冷校准齿型 |      | 8~9  |                     |  |
|        |                            | C           | 7    |                     |                            |      | 7~8  |                     |  |
| 珩齿     |                            |             | 6~7  | 冷轧齿轮 (m≤1 5 mm)     |                            |      | 7    |                     |  |

**表 6—5 普通螺纹加工的经济精度**

| 加工方法                  |     | (GB / T<br>197-1981) | 螺纹公差      | 加工方法    |     | 精度等级 | 螺纹公差 (GB / T<br>197-1981) |
|-----------------------|-----|----------------------|-----------|---------|-----|------|---------------------------|
| 车螺纹                   | 外螺纹 | 1~2                  | 4h——6h    | 梳形刀车    | 外螺纹 | 1~2  | 4h~6h                     |
|                       | 内螺纹 | 2~3                  | 5H~7H     | 螺纹      | 内螺纹 | 2~3  | 5H~7H                     |
| 圆板牙套螺纹                |     | 2~3                  | 6h~8h     | 梳形铣刀铣螺纹 |     | 2~3  | 6h~8h                     |
| 丝锥攻内螺纹                |     | 1~3                  | 4H, 5H~7H | 旋风铣螺纹   |     | 2~3  | 6h~8h                     |
| 带圆流刀自动张<br>开式板牙       |     | 1~2                  | 4h——6h    | 搓丝板搓螺纹  |     | 2    | 6h                        |
|                       |     |                      |           | 滚丝模滚螺纹  |     | 1~2  | 4h~6h                     |
| 带径向或切向梳刀的<br>自动张开式板牙头 |     | 2                    | 6h        | 砂轮磨螺纹   |     | 1或更高 | 4h以上                      |
|                       |     |                      |           | 研磨螺纹    |     | 1    | 4h                        |

2. 常用加工方法所能达到的形状经济精度

常用加工方法所能达到的直线度、平面度、圆度和圆柱度的经济精度见表 6—6、表 6—7。

**表 6—6 直线度、平面度的经济精度**

|      | 超精密加工         | 精细加工           |              | 精加工             | 半精加工          | 粗加工           |
|------|---------------|----------------|--------------|-----------------|---------------|---------------|
| 加工方法 | 超精磨、精研、<br>细刮 | 高精度磨、研<br>磨、精刮 | 高精度车、磨、<br>刮 | 精车、铣、刨、<br>拉、粗磨 | 半精车、插、<br>铣、刨 | 各种机械粗加<br>工方法 |
| 公差等级 | 1~2           | 3~4            | 5~6          | 7~8             | 9~10          | 11~12         |

注：形状公差等级的公差值查直线度、平行度公差表 (GB / T 1184—1996 的附录 B)。

**表 6—7 圆度、圆柱度经济精度**

|      | 超精密加工            | 精细加工                       | 精加工                    | 半精加工                   | 粗加工    |
|------|------------------|----------------------------|------------------------|------------------------|--------|
| 加工方法 | 研磨、细磨及<br>高精度金刚镗 | 细车、细镗、<br>细磨、金刚镗、<br>研磨、珩磨 | 精车、精镗、<br>磨、珩、拉、细<br>绞 | 半精车、镗、<br>绞、拉、精扩及<br>钻 | 粗车及镗、钻 |
| 公差等级 | 1~2              | 3~4                        | 5~6                    | 7~8                    | 9~10   |

注：公差等级值查圆度、圆柱度公差表 (GB / T 1184—1996 的附录 B)。

3. 常用加工方法能达到的位置经济精度

常用加工方法所能达到的平行度、倾斜度、垂直度、同轴度、圆跳动、全跳动的经济精度见表 6—8、表 6—9。加工轴心线相互平行或相互垂直的孔的位置经济精度见表 6—10、表 6—11。

## 沅江市职业中专机械加工技术教案

### 表 6—8 平行度、倾斜度、垂直度的经济精度

|      | 超精密加工          | 精细加工         | 精加工             | 半精加工            | 粗加工     |
|------|----------------|--------------|-----------------|-----------------|---------|
| 加工方法 | 超精研、细磨、刮、金刚石加工 | 研磨、精磨及刮、珩、细车 | 磨、刮、珩、车、铣、刨、坐标镗 | 车、镗、刨、铣、粗磨、导套钻铰 | 各种粗加工方法 |
| 公差等级 | 1~2            | 3~4          | 5~7             | 8~10            | 11~12   |

注：公差等级的公差值查平行度、垂直度、倾斜度公差表(GB / T 1184—1996 的附录 B)。

### 表 6—9 同轴度、圆跳动、全跳动的经济精度

|      | 超精密加工            | 精细加工                  | 精加工              | 半精加工       | 粗加工   |
|------|------------------|-----------------------|------------------|------------|-------|
| 加工方法 | 研磨、细磨、珩、高精度金刚石加工 | 细磨、细车、一次安装下的内圆磨、珩磨、研磨 | 精车及磨，一次安装下的内圆磨及镗 | 车、镗、拉、铰及粗磨 | 车、镗、钻 |
| 公差等级 | 1~2              | 3~4                   | 5~6              | 7~9        | 10~12 |

注：公差等级的公差值查同轴度、对称度、圆跳动和全跳动的公差表(GB / T 1184—1996 的附录 B)。

### 表 6—10 轴心线相互平行的孔的位置经济精度

$\mu\text{m}$

| 加工方法          |                     | 两孔中心线的距离<br>误差或自孔中心线<br>到平面的距离误差 | 加工方法          |                | 两孔中心线的距离<br>误差或自孔中心线<br>到平面的距离误差 |
|---------------|---------------------|----------------------------------|---------------|----------------|----------------------------------|
| 立钻或摇臂钻<br>上钻孔 | 按划线                 | 500——1 000                       | 卧 式 镗<br>床上镗孔 | 按划线            | 400——600                         |
|               | 用钻模                 | 100——200                         |               | 用游标尺           | 200——400                         |
| 立钻、摇臂钻上镗孔     | 用镗模                 | 50~100                           |               | 用内径规、塞尺        | 50~250                           |
| 车床上镗孔         | 按划线                 | 1 000——3 000                     |               | 用镗模            | 50~80                            |
|               | 在 角 铁<br>式 夹 具<br>上 | 100~300                          |               | 按定位器的指<br>示读数  | 40~60                            |
| 坐标镗床上镗孔       | 用 光 学<br>仪器         | 4~15                             |               | 用程序控制的<br>坐标装置 | 40~50                            |
| 金刚镗床上镗<br>孔   |                     | 8~20                             |               | 按定位样板          | 80~200                           |
| 多轴组合机床上镗<br>孔 | 用镗模                 | 50~200                           |               | 用块规            | 50~100                           |

注：对于钻、卧镗及组合机床的镗孔偏差同样适于铰孔。

表 6—11 轴心线相互垂直的孔的位置经济精度  $\mu\text{m}$

| 加工方法       |       | 在100 mm长度上<br>轴心线的垂直<br>度 | 轴 心 线<br>的位置度 | 加工方法              |                   | 在100 mm长度<br>上轴心线的<br>垂直度 | 轴心线的<br>位置度 |
|------------|-------|---------------------------|---------------|-------------------|-------------------|---------------------------|-------------|
| 立钻上        | 按划线   | 500——1000                 | 500—2000      | 卧式镗<br>床 上 镗<br>孔 | 按划线               | 500—1000                  | 500—2000    |
| 钻孔         | 用钻模   | 100                       | 500           |                   | 用镗模               | 40——200                   | 20~60       |
| 铣床上        | 回转工作台 | 20~50                     | 100—200       |                   | 回转工作台             | 60~300                    | 30~80       |
| 镗孔         | 回转分度头 | 50~100                    | 300—500       |                   | 在带有百分<br>表的回转工作台上 | 50~150                    | 50~100      |
| 多轴床上<br>镗孔 | 用镗模   | 20~50                     | 10~30         |                   |                   |                           |             |

注：在镗空间的垂直孔时，中心距误差可按上述相应的找正方法选用。

三、常用加工方法能达到的表面粗糙度

常用加工方法能达到的经济表面粗糙度的参考数据见表 6—12。

表 6—12 常用加工方法能达到的经济表面粗糙度

| 加工方法 |    |         | 表面粗糙度值Ra |    | 加工方法      |          |         | 表面粗糙度值Ra  |  |
|------|----|---------|----------|----|-----------|----------|---------|-----------|--|
| 车    | 外圆 | 粗       | 12.5~6.3 |    | 磨         | 外圆       | 粗       | 3.2~0.8   |  |
|      |    | 半精      | 6.3~1.6  |    |           |          | 半精      | 0.8~0.2   |  |
|      |    | 精       | 0.8~0.2  |    |           |          | 精       | 0.2~0.025 |  |
|      | 端面 | 粗       | 12.5~6.3 |    |           | 平面       | 粗       | 1.6       |  |
| 半精   |    | 6.3~1.6 |          | 半精 | 0.8~0.4   |          |         |           |  |
| 精    |    | 0.8~0.4 |          | 精  | 0.2~0.025 |          |         |           |  |
| 钻孔   |    |         | 12.5~6.3 |    | 加工        | 车丝锥板牙    |         | 6.3~0.8   |  |
| 扩孔   |    | 粗精      | 12.5~6.3 |    |           | 滚磨       |         | 3.2~0.8   |  |
|      |    |         | 3.2~1.6  |    |           | 研磨       |         | 0.4~0.2   |  |
| 铰孔   |    | 粗半精精    | 6.3~1.6  |    | 齿轮及花键     | 刨        |         | 0.8~0.2   |  |
|      |    |         | 1.6~0.4  |    |           |          |         | 0.8~0.2   |  |
|      |    |         | 0.8~0.1  |    |           | 0.8~0.05 |         |           |  |
| 拉孔   |    | 半精精     | 1.6~0.4  |    |           | 滚齿       | 粗精      | 3.2~1.6   |  |
|      |    |         | 0.2~0.1  |    |           |          |         | 1.6~0.8   |  |
| 镗孔   |    | 粗       | 12.5~6.3 |    | 插齿        | 粗精       | 3.2~1.6 |           |  |
|      |    |         | 12.5~6.3 |    |           |          | 1.6~0.8 |           |  |
| 锪孔   |    | 半精精     | 3.2~0.8  |    | 加工        | 磨齿剃齿     |         | 0.8~0.1   |  |
|      |    |         | 0.8~0.4  |    |           |          |         | 0.8~0.2   |  |

## 沅江市职业中专机械加工技术教案

| 金刚镗孔 |        |         | 0.2~0.05 |        | 拉齿        | 3.2~1.6    |
|------|--------|---------|----------|--------|-----------|------------|
| 铣削   | 周<br>铣 | 粗       | 12.5~3.2 |        | 研齿        | 0.4~0.2    |
|      |        | 半精      | 3.2~0.8  | 珩<br>磨 | 平面        | 0.8~0.025  |
|      | 精      | 0.8~0.4 | 圆柱       |        | 0.2~0.012 |            |
|      | 端<br>铣 | 粗       | 6.3~3.2  | 研<br>磨 | 粗         | 0.8~0.2    |
|      |        | 半精      | 3.2~0.4  |        | 半精        | 0.2~0.05   |
|      |        | 精       | 0.4~0.2  |        | 精         | 0.05~0.012 |
| 刨削   |        | 粗       | 50~6.3   | 超精     | 平面        | 0.1~0.012  |
|      |        | 半精      | 3.2~0.8  | 加工     | 圆柱        | 0.2~0.006  |
|      |        | 精       | 0.8~0.4  |        |           |            |

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                                          |
|--------|--------------------------------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                                               |
| 课    题 | 机械加工工艺流程                                                                 |
| 教    者 | 黄    曙                                                                   |
| 教案序号   | 第    15    教案                                                            |
| 教学目的   | 1、工艺规程的内容和作用<br>2、制订工艺规程的原则<br>3、工艺规程的形式<br>4、制订工艺规程的原始资料<br>5、制订工艺规程的步骤 |
| 重点难点   | 1、制订工艺规程的原则<br>2、工艺规程的形式<br>3、制订工艺规程的步骤                                  |
| 作    业 | 1、P188.1<br>2、P188.2                                                     |
| 复    习 |                                                                          |
| 导    入 |                                                                          |
| 后    记 | 注意工艺卡和工序卡的区别                                                             |

## 第七章 机械加工工艺规程的制订

### 第一节 工艺规程简介

机械加工工艺规程简称工艺规程，工艺规程是指规定零件加工工艺过程和操作方法的工艺文件，它是在具体生产条件下，将合理的工艺过程和方法，按规定的形式制定成工艺文本，经审批后用来指导生产并严格贯彻执行的指导性文件。

#### 一、工艺规程的内容和作用

工艺规程一般包括下列内容：毛坯类型和材料，零件加工工艺路线，各工序的加工内容和要求，采用的加工设备和工艺装备，工件质量的检验项目和检验方法，切削用量，工时定额，工人技术等级等。

工艺规程的作用有：

(1) 工艺规程是指导生产的主要技术文件，是指挥现场生产的依据。按照工艺规程组织生产可以使各工序配合紧密、合理、有效、保质保量地生产出产品来。

(2) 工艺规程是生产准备和生产管理的基本依据。产品生产前，可以依据工艺规程进行技术准备工作和生产准备工作。它也是生产调度部门安排生产计划，进行生产成本核算的依据。

(3) 工艺规程是新建、扩建工厂或车间的基本资料，是提出生产面积、厂房布局、人员编制、购置设备等的依据。

(4) 工艺规程是工艺技术交流的主要形式。

#### 二、制订工艺规程的原则

工艺规程制订的总原则是优质、高产、低成本，即在保证产品质量的前提下，争取最好的经济效益。制定工艺规程时，应注意以下问题：

##### 1. 技术上的先进性

在制订工艺规程时，要了解国内外本行业的工艺技术进展，通过必要的工艺试验，积极采取适用的先进工艺和工艺装备。

##### 2. 经济上的合理性

在一定的生产条件下，可能会有几个都能满足产品质量要求的工艺方案。此时应通过成本核算或评比，选择经济上最合理的方案使新产品成本最低。

##### 3. 有良好的劳动条件，避免环境污染

在制订工艺规程时，要注意保证工人具有良好而安全的劳动条件，尽可能采用先进的技术措施，将工人从笨重繁杂的体力劳动中解放出来。同时，要符合国家环境保护法的有关规定，避免环境污染。

#### 三、工艺规程的形式

工艺规程主要有机械加工工艺过程卡片和机械加工工序卡片两种形式，见表7—1及表7—2。

表7—1为机械加工工艺过程卡片。它是以工序为单位简要说明零件加工过程的

# 沅江市职业中专机械加工技术教案

一种工艺文件。由于工序内容不够具体,故不能直接指导工人操作,只能用来了解

表 7—1 机械加工工艺流程卡片格式

[illegible]

## 沅江市职业中专机械加工技术教案

### 表 7—2 机械加工工序卡片格式

|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|-----|-----|---------|-----|--|-----|------------|-----|-----|---------|--------------|-----------|-------------------------|------------|-------------------------|-------------|--------------------|--|-------------------|--|---------|--|----------------------|--|
|     |     |         |     |  |     | 产 品<br>型 号 |     |     |         | 零(部)件<br>图 号 |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     | 产 品<br>名 称 |     |     |         | 零(部)件<br>名 称 |           |                         |            |                         |             | 共( )页              |  | 第( )页             |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         | 车 间          |           | 工 序 号                   |            | 工 序 名 称                 |             | 材 料 牌 号            |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         | 毛坯种类         |           | 毛坯外型尺寸                  |            | 每毛坯可制件数                 |             | 每台件数               |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         | 设备名称         |           | 设备型号                    |            | 设备编号                    |             | 同时加工件数             |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         | 夹具编号         |           |                         |            | 夹具名称                    |             |                    |  | 切削液               |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         | 工位器具编号       |           |                         |            | 工位器具名称                  |             |                    |  | 工序工时              |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         | 准终           |           | 单件                      |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
| 工步号 |     | 工 步 内 容 |     |  |     |            |     |     | 工 艺 装 备 |              |           | 主 轴 转 速<br>/<br>(r/min) |            | 切 削 速 度<br>/<br>(m/min) |             | 进给量<br>/<br>(mm/r) |  | 切 削 深度<br>/<br>mm |  | 进 给 次 数 |  | 工 步 工 时<br><br>机 辅 助 |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              |           |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
|     |     |         |     |  |     |            |     |     |         |              | 设 计<br>日期 | 审 核<br>(日期)             | 标 准 化 (日期) |                         | 会 签<br>(日期) |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |
| 标 记 | 处 数 | 更改文件号   | 签 字 |  | 日 期 |            | 标 记 | 处 数 | 更改文件号   | 签 字          | 日 期       |                         |            |                         |             |                    |  |                   |  |         |  |                      |  |

零件加工的流向，作为生产管理方面使用，一般适用于单件小批生产。

表 7—2 为机械加工工序卡片。它是在工艺过程卡片的基础上，按每道工序编制的工艺文件。在工序卡上一般都具有工序简图，注明该工序的加工表面用其尺寸、精度、表面粗糙度和技术要求，加工用的定位基准、夹紧部位等，并详细说明该工序每个工步的内容、切削用量、工时定额以及所用设备和工艺装备等。

工序卡是用来具体指导工人生产的，主要用于大批大量生产或单件小批生产中的关键工序或成批生产中的重要零件。

#### **四、制订工艺规程的原始资料**

制定工艺规程，必须具备以下原始资料：

- (1) 产品装配图和零件图。
- (2) 产品质量的验收标准。
- (3) 产品的生产纲领。
- (4) 本企业的生产条件。如毛坯的制造能力，现有的加工设备、工艺装备及其使用状况，专用设备、工装的制造能力及工人的技术水平等。
- (5) 有关手册、标准及指导性、规范性文件。
- (6) 同时期国内外先进工艺及生产技术发展的情况。

#### **五、制订工艺规程的步骤**

- (1) 分析研究产品的装配图和零件图。
- (2) 分析毛坯，确定总加工余量。
- (3) 拟定工艺路线。
- (4) 确定各工序的加工余量，计算工序尺寸公差。
- (5) 确定各工序所使用的设备。
- (6) 确定各工序所需使用的刀具、夹具、量具及辅助工具。
- (7) 确定各主要工序的技术要求及检验方法。
- (8) 确定切削用量，估算工时定额。
- (9) 评价各种工艺方案，确定最佳工艺路线。
- (10) 填制工艺文件。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                        |
|--------|----------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                             |
| 课    题 | 零件图的分析                                 |
| 教    者 | 黄    曙                                 |
| 教案序号   | 第  16  教案                              |
| 教学目的   | 1、掌握零件的结构及其工艺性分析<br>2、掌握零件技术要求分析<br>3、 |
| 重点难点   | 1、零件结构工艺性分析实例<br>2、零件技术要求分析<br>3、      |
| 作    业 | 1、P188.3<br>2、                         |
| 复    习 |                                        |
| 导    入 |                                        |
| 后    记 | 对比分析结构工艺的优劣                            |

## **第二节 零件图的分析**

零件图是制定工艺规程最基本的原始资料之一。对零件图分析得是否透彻，将直接影响所制定工艺规程的科学性、合理性和经济性。分析零件图，主要从以下两方面进行。

### **一、零件的结构及其工艺性分析**

(1) 机器零件的结构由于使用要求不同而具有各种形状和尺寸。但是，各种零件都是由基本表面和特形表面组成的。基本表面有内外圆柱面、圆锥面和平面等；特形表面主要有螺旋面、渐开线齿面及其它一些成形表面等。

(2) 表面形状是选择加工方法的基本要素，所以首先要分析该零件是由哪些表面组成的。例如外圆表面一般进行车削和磨削；内孔多用钻、扩、铰、镗和磨削方法完成。另外，表面尺寸对加工工艺方案也有重要影响，例如大孔与小孔，深孔与浅孔加工工艺方案均有明显不同。

(3) 在分析零件的结构时，不仅要注意零件表面特征，还要注意这些表面的不同组合，正是这些不同的组合才形成零件结构上的特点。例如以内外圆为主的表面，可组成盘类、环类、套筒类零件。显然，这些零件在加工工艺方案上有较大差异。在机械制造业中，通常按照零件结构和工艺过程的相似性，将零件大致分为轴套类、盘环类、叉架类及箱体等。

(4) 在研究零件的结构时，还应注意审查零件的结构工艺性。零件的结构工艺性是指在保证使用要求的前提下，能否以较高的生产率和较低的成本而方便地制造出来的特性。

表 7—3 列举了在常规工艺条件下零件结构工艺性分析的实例。

### **二、零件技术要求分析**

零件技术要求分析包括以下几个方面：

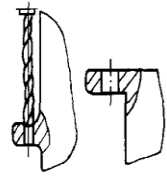
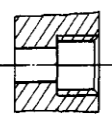
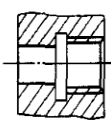
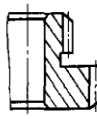
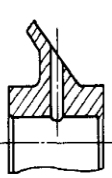
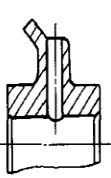
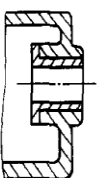
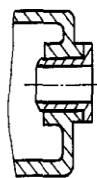
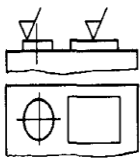
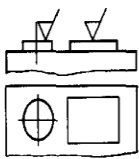
- (1) 精度分析，包括被加工表面的尺寸精度、形状精度和相互位置精度的分析。
- (2) 表面粗糙度及其他表面质量要求的分析。
- (3) 热处理要求和其他方面要求(如动平衡、去磁等)的分析。

分析零件的技术要求时，还要结合零件在产品中的作用，审查技术要求规定得是否合理，有无遗漏和错误，发现不妥之处，应与设计人员协商解决。

在认真分析了零件的技术要求后，结合零件的结构特点，对制订零件加工工艺规程就可有一初步的轮廓。

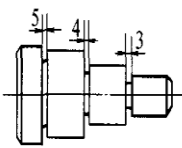
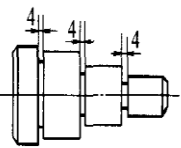
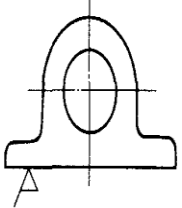
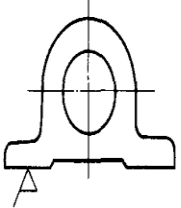
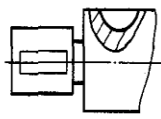
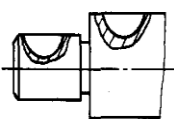
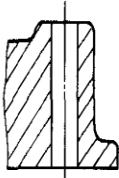
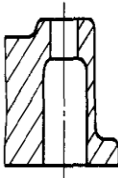
# 沅江市职业中专机械加工技术教案

表 7—3 零件结构工艺性分析实例

| 序号 | 零件结构                                                       |                                                                                     |                                                                                     |                                                                 |
|----|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|    | 工艺性不好                                                      |                                                                                     |                                                                                     | 工艺性好                                                            |
| 1  | <p>孔离箱壁太近:</p> <p>①钻头在圆角处易引偏</p> <p>②箱壁高度尺寸大,需加长钻头才能钻孔</p> |    |    | <p>①加长箱耳,不需加长钻头可钻孔</p> <p>②只要使用上允许,将箱耳设计在某一端,则不需加长箱耳,也可方便加工</p> |
| 2  | <p>车螺纹时,螺纹根部易打刀;工人操作紧张,且不能清根</p>                           |    |    | <p>留有退刀槽,可使螺纹清根,操作相对容易,可避免打刀</p>                                |
| 3  | <p>插键槽时,底部无退刀空间,易打刀</p>                                    |    |    | <p>留出退刀空间,避免打刀</p>                                              |
| 4  | <p>无退刀空间,小齿轮无法加工</p>                                       |   |   | <p>大齿轮可滚齿或插齿加工,小齿轮可以插齿加工</p>                                    |
| 5  | <p>斜面钻孔,钻头易引偏</p>                                          |  |  | <p>只要结构允许,留出平台,可直接钻孔</p>                                        |
| 6  | <p>加工面设计在箱体内部,加工时调整刀具不方便,观察也困难</p>                         |  |  | <p>加工面设计在箱体外部,加工方便</p>                                          |
| 7  | <p>加工面高度不同加工时,需两次调整刀具,影响生产率</p>                            |  |  | <p>加工面在同一高度,一次调整刀具,可加工两个凸台面</p>                                 |

续表

# 沅江市职业中专机械加工技术教案

| 序号 | 零件结构                        |                                                                                    |                                                                                    |                                 |
|----|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
|    | 工艺性不好                       |                                                                                    | 工艺性好                                                                               |                                 |
| 8  | 三个空刀槽的宽度有三种尺寸,需用三把不同尺寸刀具加工  |   |   | 同一个宽度尺寸的空刀槽,使用一把刀具即可加工          |
| 9  | 加工面大,加工时间长,并且零件尺寸愈大,平面度误差愈大 |   |   | 加工面减小,节省工时,减少刀具损耗,并且容易保证平面度要求   |
| 10 | 两键槽在轴上的位置相差 90°,加工时需两次装夹    |   |   | 将阶梯轴的两个键槽设计在同一方向上,一次装夹即可对两个键槽加工 |
| 11 | 钻孔过深,加工时间长,钻头损耗大,并且钻头易偏斜    |  |  | 钻孔的一端留空刀,钻孔时间短,钻头寿命长,钻头不易偏斜     |

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                 |
|--------|-------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                      |
| 课    题 | 定位基准的选择                                         |
| 教    者 | 黄    曙                                          |
| 教案序号   | 第    17    教案                                   |
| 教学目的   | 1、粗基准的选择<br>2、精基准的选择<br>3、                      |
| 重点难点   | 1、相互位置要求原则<br>2、余量均匀的原则<br>3、基准重合原则<br>4、基准统一原则 |
| 作    业 | 1、P188.4<br>2、                                  |
| 复    习 |                                                 |
| 导    入 |                                                 |
| 后    记 | 基本原则要求记忆                                        |

### 第三节 定位基准的选择

制定工艺规程时，能否正确且合理地选择定位基准，将直接影响到被加工零件的位置精度、各表面加工的先后顺序，有时还会影响到所采用工艺装备的复杂程度，因此，必须重视定位基准的选择。

#### 一、粗基准的选择

在加工过程的第一道工序中，只能用毛坯的未加工表面作为定位基准，称为粗基准。选择粗基准时，考虑的总原则是：保证各加工表面有足够的余量，不加工表面的尺寸、位置符合图纸要求。

##### 1. 相互位置要求原则

为保证加工表面与非加工表面的位置关系，应选择非加工表面作粗基准。如图 7—1 所示的零件，内孔和端面需要加工，外圆表面不需加工。铸造时内孔相对于外圆有偏心。为了保证加工后零件的壁厚均匀(内、外圆表面的同轴度较好)，应选择外圆表面作粗基准。

若在零件上有很多不需要加工表面，则应以其中与加工表面的相互位置要求较高的表面作粗基准。如图 7—2 所示零件，径向有三个不加工表面，若要求  $D_2$  和  $\phi 40^{+0.1}_0$  间的壁厚均匀，则应取  $D_2$  作为粗基准的定位面。

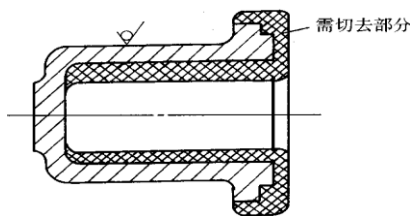


图 7—1 粗基准选择示例

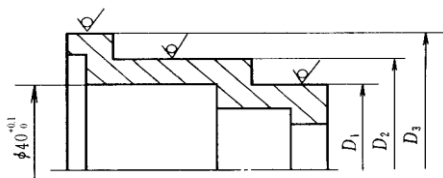


图 7—2 粗基准选择

##### 2. 余量均匀的原则

具有较多加工表面的零件，粗基准的选择应合理地分配各工序的加工余量。对于某些重要表面(如导轨面和重要的内孔等)，应尽量能使其加工余量均匀。例如车床导轨面，它不仅精度要求高，而且要求导轨面有均匀的金相组织和较高的耐磨性，因此希望加工时导轨面的加工余量小而且均匀。此时应以导轨面为粗基准，先加工底面，然后再以底面为精基准，加工导轨面，这样可以保证导轨面的加工余量均匀，如图 7—3 所示。

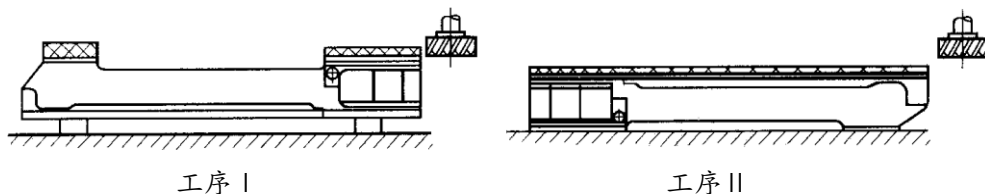


图 7—3 床身加工的粗基准选择

### 3. 余量足够原则

具有较多加工表面的零件，粗基准选择应保证各加工表面都有足够的加工余量。如图 7—4 所示，粗基准应选择毛坯上余量最小的表面，即选择  $\phi 55$  外圆为粗基准。如以  $\phi 108$  外圆为粗基准加工  $\phi 50$  外圆时，当两外圆有 3 mm 的偏心时，则有可能因  $\phi 50$  余量不足而使工件报废。

### 4. 切除余量最少原则

对具有较多的加工表面的零件，粗基准选择应使零件各加工表面总的金属切除量最少。应选择零件上加工面积大，形状复杂的表面为粗基准。如图 7—3，当选择导轨面为粗基准时，由于加工平面简单、且面积较小，即使切去较大余量，而金属切除量并不大。再以它为精基准加工导轨面，可使加工余量小而均匀，减少了加工劳动量。

### 5. 粗基准不重复使用原则

由于粗基准的误差很大，一般只能使用一次，重复使用必然产生很大的加工误差。如图 7—5 所示，若重复使用表面 B 为粗基准加工表面 A 和 C，必然会造成表面 A 和 C 产生较大的同轴度误差。

此外，应尽量选择没有飞边、浇口、冒口或其他缺陷的光洁、平整、面积较大、装夹稳定的表面作粗基准，使工件定位稳定，夹紧可靠。

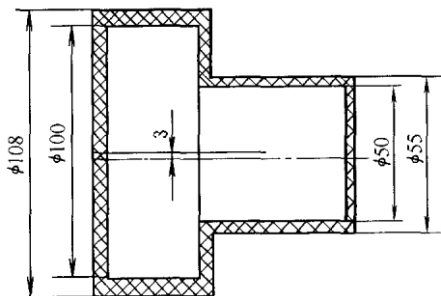


图 7—4 阶梯轴粗基准选择

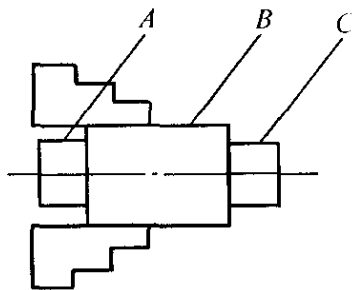


图 7—5 粗基准不重复使用原则

## 二、精基准的选择

在工件粗加工以后的加工工序中，一般使用加工过的表面作为定位基准，称为精基准。选择精基准的总原则是：保证零件的加工精度和装夹方便可靠，使零件的制造较为经济、容易。选择精基准一般遵循的原则有：

### 1. 基准重合原则

尽量选择被加工表面的设计基准或工序基准作为定位基准，避免基准不重合误差的产生。如图 7—6 所示为在一平面上钻孔的工序图，工序基准为 A、B 端面。此时，宜选 A、B 端面为其定位基准，避免基准不重合误差的产生。

### 2. 基准统一原则

在工件的加工过程中尽可能地采用统一的定位基准称为基准统一原则。采用这一原则可以减少安装时间，避免基准转换所产生的误差，简化夹具的设计和制造。例如轴类零件常采用顶尖孔作为统一基准，箱体常用一面双孔作为精基准，盘类零

件常用一端面和一短孔为精基准。

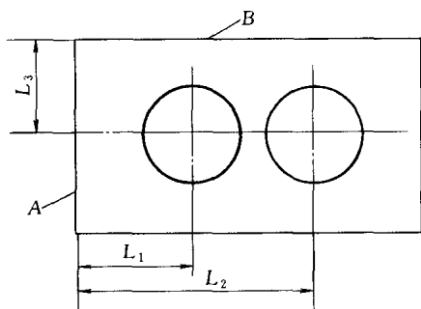


图 7—6 基准重合原则

### 3. 互为基准原则

对于相互位置精度要求高的表面，可以采用互为基准、反复加工的方法。例如车床主轴的主轴颈与主轴锥孔的同轴度要求高，一般先以轴颈定位加工锥孔，再以锥孔定位加工轴颈，如此反复加工来达到同轴度要求。

### 4. 自为基准原则

当精加工或光整加工工序要求余量小而均匀时，应选择加工表面本身作为定位基准。图 7—7 所示导轨面的磨削，就是以导轨面自身为基准找正定位。此外，拉孔、浮动铰孔、浮动镗孔、无心磨外圆及珩磨等都是自为基准的例子。

除上述四个原则外，选择精基准时，还应考虑所选精基准能使工件定位准确、稳定，夹紧方便可靠，夹具的结构简单，操作方便等。

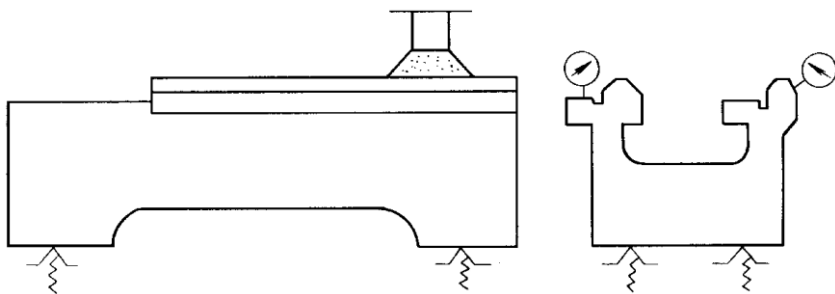


图 7—7 自为基准实例

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                                                     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                                                          |
| 课    题 | 拟定工艺路线                                                                              |
| 教    者 | 黄    曙                                                                              |
| 教案序号   | 第    18    教案                                                                       |
| 教学目的   | 1、了解加工方法的选择<br>2、了解加工阶段的划分<br>3、熟悉工序的集中与分散<br>4、掌握加工顺序的安排<br>5、了解热处理工序、辅助工序和检验工序的安排 |
| 重点难点   | 1、加工方法的选择<br>2、工序的集中与分散<br>3、加工顺序的安排<br>4、常见的典型零件的工艺路线                              |
| 作    业 | 1、P188.5<br>2、P188.6<br>3、P189.7                                                    |
| 复    习 |                                                                                     |
| 导    入 |                                                                                     |
| 后    记 | 课堂问答：<br>P189.8                                                                     |

## 第四节 拟定工艺路线

拟定工艺路线,就是对工艺规程进行总体安排,是制订工艺规程时一项很重要的工作。它主要包括选择定位基准(前述);确实各主要表面的加工方法;划分加工阶段;合理安排各表面的加工顺序等。

### 一、加工方法的选择

一般情况下,根据零件的精度(包括尺寸精度、形状精度和位置精度以及表面粗糙度)要求,考虑本企业(或本车间)现有工艺条件,考虑加工经济精度的因素选择加工方法。表6—1至表6—11介绍了各种加工方法的加工经济精度和经济表面粗糙度,表6—12给出了各种机床所能达到的几何形状精度与表面相互位置精度,供选择加工方法时参考。

对于那些有特殊要求的加工表面,例如,相对于本企业工艺条件来说,尺寸特别大或特别小,工件材料难加工,技术要求高,则首先考虑在本企业能否加工的问题,如果在本企业加工有困难,就需要考虑外协加工,或增加投资,增添设备,开展必要的工艺研究,以扩大工艺能力,满足加工精度的要求。

因此在选择加工方法时应考虑以下几个问题:

- (1)所选择的加工方法能否达到零件精度的要求。
- (2)零件材料的可加工性能如何。例如有色金属宜采用切削方法,不宜采用磨削加工方法,因有色金属易堵塞砂轮工作面。
- (3)生产率对加工方法有无特殊要求。例如为适应大量生产的需要,齿轮内孔通常多采用拉削方法加工。

应充分考虑本企业的工艺能力和现有设备的种类、数量、加工范围及加工经济精度,工艺人员和工人的技术水平,以充分利用现有资源,不断地对原有设备、工艺装备进行技术改造,挖掘企业潜力,创造经济效益。

### 二、划分加工阶段

零件的加工质量要求较高时,应把整个加工过程划分为以下几个阶段:

- (1)粗加工阶段 其主要任务是切除大部分余量,应着重考虑如何获得高的生产率。
- (2)半精加工阶段 完成次要表面的加工,并为主要表面的精加工作好准备。
- (3)精加工阶段 使各主要表面达到或接近图样规定的技术要求。
- (4)光整加工阶段 使尺寸精度和表面质量要求特别高的表面达到图样规定的要求。

划分加工阶段的原因是:

①保证加工质量。工件加工阶段划分后,粗加工因余量大,切削力大等因素造成的加工误差,可通过半精加工和精加工逐步纠正,保证加工质量。

②有利于合理使用设备。粗加工要求功率大、刚性好、生产率高的设备。精加工则要求精度高的设备。划分加工阶段后,就可充分发挥粗精加工设备的特点,合理利用设备。

③便于安排热处理工序,使冷热加工工序配合得更好。例如,粗加工后残余应

力大，可安排时效处理，消除残余应力；热处理引起的变形又可在精加工中消除。

④便于及时发现毛坯缺陷。粗加工时切除大部分余量，能及早发现毛坯缺陷，以便及时报废或进行修补，避免浪费精加工工时。

⑤精加工、光整加工安排在后，可保护精加工和光整加工过的表面少受磕碰损坏。

应该指出，上述阶段划分不是一成不变的。当加工质量要求不高、工件刚性足够、毛坯质量高、加工余量小时，可不划分加工阶段。

### **三、工序的集中与分散**

为了便于组织生产，常将工艺路线划分为若干工序，划分的原则可采用工序的集中或分散的原则。

#### **1. 工序集中**

所谓工序集中，是使每个工序中包括尽可能多的工步内容，因而使总的工序数目减少，夹具的数目和工件的安装次数也相应地减少。

工序集中有利于保证各加工面间的相互位置精度要求，有利于采用高生产率机床，节省装夹工作的时间，减少工件的搬动次数。数控技术的发展为工序的高度集中奠定了基础。

#### **2. 工序分散**

所谓工序分散，是将工艺路线中的工步内容分散在更多的工序中去完成，因而每道工序的工步少，工艺路线长。

工序分散可使每个工序使用的设备和夹具比较简单，调整、对刀也比较容易，对操作工人的技术水平要求较低。

工序集中和分散的程度必须根据零件的批量、加工要求和生产条件来决定。在一般情况下，单件小批生产大都采用工序集中，多采用通用机床。大批大量生产中可以集中，也可以分散。随着数控机床、加工中心、柔性制造单元、柔性制造系统的应用，更趋向于用工序集中的原则来组织生产。

### **四、加工顺序的安排**

安排加工顺序就是指把零件各表面加工的先后顺序按工序次序排列出来。它对保证加工质量、降低生产成本有着重要的作用。一般按以下几个原则安排。

#### **1. 基准先行**

主要表面的精基准应先加工，以便在后续工序中能以其为基准加工其他表面。

#### **2. 先粗后精**

当零件需要划分加工阶段时，应按先粗加工，中间半精加工，最后精加工和光整加工的先后顺序进行。

#### **3. 先主后次**

先安排零件的工作表面和装配基准面等主要表面的加工，后加工非工作面、键槽、紧固用的光孔和螺纹孔等次要表面。由于次要表面加工面积小，又常与主要表面有位置精度要求，所以一般放在主要表面半精加工或精加工后加工。

#### **4. 先面后孔**

对于箱体、支架等类零件，平面的轮廓尺寸较大，用它定位比较稳定，因此应选平面作精基准，先加工平面，然后以平面定位加工孔，有利于保证孔的加工精度。

### 5. 进给路线短

主要在数控加工中，应缩短刀具移动距离，减少空行程时间。

### 6. 换刀次数少

使用加工中心，每换一把刀具后，应将所能加工表面全部加工完毕。

## 五、热处理工序、辅助工序和检验工序的安排

### 1. 热处理工序

常用的热处理方法有退火、正火、时效和调质等。热处理的目的是提高材料的力学性能，改善材料的加工性和消除内应力。

(1)退火和正火 退火和正火的目的是降低毛坯的硬度、消除毛坯的内应力，改善切削加工性、细化晶粒和消除组织的不均匀，可以放在粗加工阶段前后进行。

(2)时效处理 对于大而复杂的铸件，为尽量减少内应力引起的变形，粗加工后进行人工时效处理。粗加工前可采用自然时效。

(3)调质处理 调质处理可以改善材料力学性能，一般安排在粗加工或半精加工后进行。

(4)表面淬火或渗碳处理 表面淬火和渗碳处理可以提高零件表面的硬度和耐磨性，一般放在精加工之前进行。

(5)其他表面处理 表面处理可以提高零件的抗腐蚀能力和耐磨性，使表面美观等，一般安排在工艺过程的最后进行。

### 2. 辅助工序

辅助工序有以下几种：去毛刺、倒棱边、清洗、退磁和涂防锈油等工序。

### 3. 检验工序

除了操作者在加工过程中自检外，在下列情况还应安排检验工序：

(1)粗加工阶段后；

(2)重要工序和工时长的工序前后；

(3)转换车间的前后，特别是热处理工序的前后；

(4)在磁力探伤、动平衡试验等特种检验之前；

(5)零件全部加工完毕后。

## 六、常见的典型零件的工艺路线介绍

一般主轴的加工工艺路线：下料→锻造→退火(正火)→粗加工→调质→半精加工→淬火→粗磨→时效→精磨。

具有花键孔的双联(或多联)齿轮的加工工艺路线：下料→锻造→粗车→调质→半精车→拉花键孔→套花键心轴精车→插齿(或滚齿)→齿部倒角→齿部淬硬→珩齿或磨齿。

渗碳件的加工工艺路线：下料→锻造→正火→粗加工→精加工→渗碳→去碳加工(去除不要硬度的表面)→淬火→车螺纹、钻孔或铣槽→粗磨→时效→半精磨→时效→精磨。

以上介绍三种零件根据类型和功用需要锻造，如果某零件不必锻造，那就下料后进入粗车或下料后调质粗车。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                               |
|--------|-----------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                    |
| 课    题 | 确定加工余量                                        |
| 教    者 | 黄    曙                                        |
| 教案序号   | 第    19    教案                                 |
| 教学目的   | 1、了解加工余量的概念<br>2、理解影响加工余量的因素<br>3、掌握确定加工余量的方法 |
| 重点难点   | 1、双边余量<br>2、影响加工余量的因素<br>3、查表修正法              |
| 作    业 | 1、P189.9<br>2、                                |
| 复    习 |                                               |
| 导    入 |                                               |
| 后    记 | 双边余量的确定                                       |

## 第五节 确定加工余量

### 一、加工余量的概念

加工余量是指加工表面达到所需的精度和表面质量而应切除的金属层厚度。余量有工序余量和加工总余量之分。工序余量是相邻两工序尺寸之差；加工总余量是毛坯尺寸与零件图设计尺寸之差，又称毛坯余量。加工总余量等于各工序余量之和。

图 7—8a、b 所示平面的加工余量为单边余量，它等于实际切除的金属层厚度。

对于外表面  $Z_i = L_{i-1} - L_i$

对于内表面  $Z_i = L_i - L_{i-1}$

式中： $Z_i$ ——本工序的加工余量；

$L_{i-1}$ ——前工序的基本尺寸；

$L_i$ ——本工序的基本尺寸。

图 7—8c 所示为对称结构的表面，其加工余量为双边余量，即

$$2Z_i = L_{i-1} - L_i$$

图 7—8d、e 所示为回转表面，其加工余量是指直径上的双边余量，实际切削层厚度为加工余量一半。

对于外圆表面  $2Z_i = d_{i-1} - d_i$

对于内圆表面  $2Z_i = D_i - D_{i-1}$

式中： $2Z_i$ ——本工序直径上的加工余量；

$d_{i-1}$ 、 $D_{i-1}$ ——前工序的基本直径；

$d_i$ 、 $D_i$ ——本工序的基本直径。

由于毛坯制造和各工序尺寸均有误差，各工序实际切除的余量是变动的，所以加工余量又分为公称余量、工序最大余量和工序最小余量。相邻两工序的基本尺寸之差即是工序余量。工序余量与工序尺寸及其公差的关系如图 7—9 所示。余量的公差为

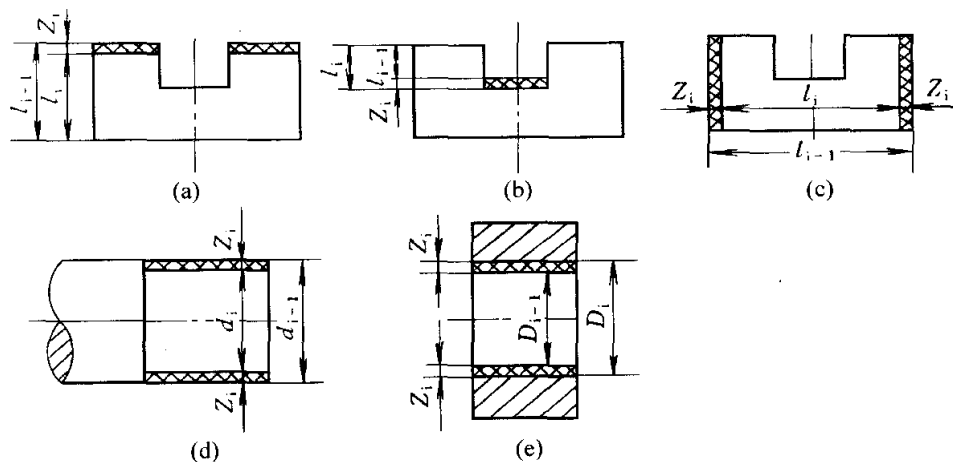


图 7—8 单边余量与双边余量

编写者：黄曙

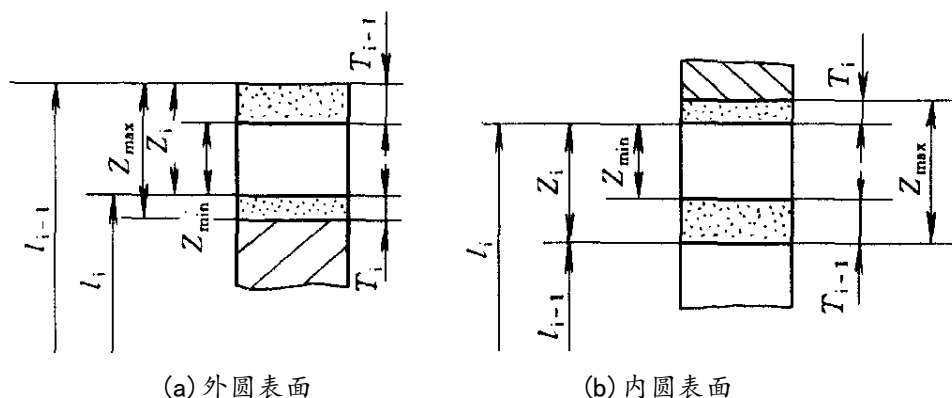


图 7—9 工序余量与工序尺寸及其公差的关系

$$T_z = Z_{\max} - Z_{\min} = T_i + T_{i-1}$$

式中：\$T\_z\$——工序余量公差；

\$Z\_{\max}\$——工序最大余量；

\$Z\_{\min}\$——工序最小余量；

\$T\_i\$——加工面在本道工序的尺寸公差；

\$T\_{i-1}\$——加工面在前道工序的尺寸公差。

## 二、影响加工余量的因素

加工余量的大小对零件的加工质量和生产率有较大影响。加工余量过大，必然增加机械加工的劳动量、降低生产率，增加原材料、设备、工具及电力的消耗。加工余量过小，既不能消除上工序的各种缺陷和误差，也不能补偿本工序加工时工件的装夹误差，造成废品。因此，应合理地确定加工余量。确定加工余量的基本原则是在保证加工质量的前提下，越小越好。影响加工余量因素如下：

### 1. 前道工序表面粗糙层和缺陷层 \$H\_a\$

本道工序必须把前道工序留下的表面粗糙层及在表面留下的一层金属组织已遭破坏的缺陷层全部切除，如图 7—10 所示。

### 2. 前道工序的尺寸公差 \$T\_{i-1}\$

工序的基本余量中包括了前道工序的尺寸公差 \$T\_{i-1}\$。

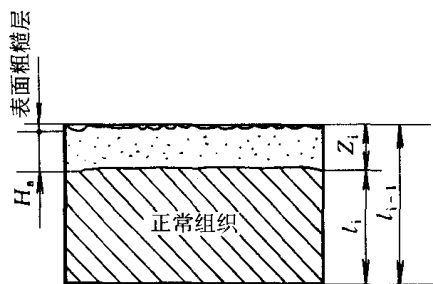


图 7—10 表面粗糙层和缺陷层 \$H\_a\$

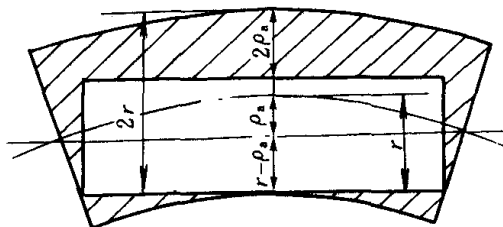


图 7—11 轴线直线度误差对加工余量的影响

### 3. 前道工序的形位误差 \$\rho\_a\$

形位误差 \$\rho\_a\$ 是指不由尺寸公差 \$T\_{i-1}\$ 所控制的形位误差。如图 7—11 所示小

轴，当轴线有直线度误差  $\rho_a$  时，须在本工序纠正，因而直径方向加工余量应增加  $2\rho_a$ 。

#### 4. 本工序的装夹误差 $\varepsilon_i$

例如图 7—12 所示用三爪自定心卡盘夹持工件外圆磨削孔时，由于三爪自定心卡盘定心不准，使工件轴线偏离主轴旋转轴线  $e$  值，造成孔的磨削余量不均匀，为了确保上下工序各项误差和缺陷的切除，孔的直径余量应增加  $2e$ 。

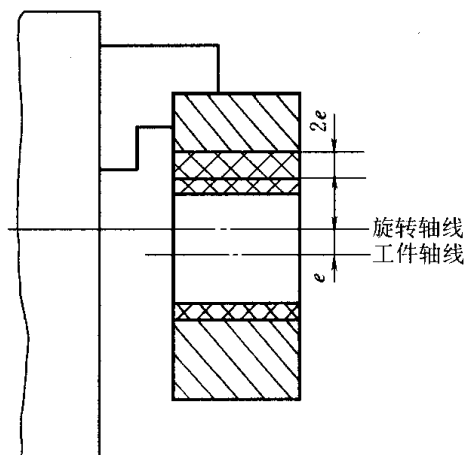


图 7—12 三爪卡盘装夹误差对加工余量的影响图

### 三、确定加工余量的方法

#### 1. 查表修正法

根据工艺手册或工厂中的统计经验资料查表，并结合具体情况加以修正来确定加工余量。此法在实际生产中广泛应用。

#### 2. 经验估算法

凭经验来确定加工余量。为防止因余量过小而产生废品，所估余量一般偏大。此法只可用于单件小批生产。

#### 3. 分析计算法

通过对影响加工余量的各项因素进行分析和综合计算，来确定所需要的最小工序余量。它是最经济合理的方法，但必须有可靠齐全的实验数据资料，且计算繁琐，故应用较少。应该指出，对于大量生产，应力求采用此方法。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                             |
|--------|---------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                  |
| 课    题 | 工艺尺寸链（一）                                    |
| 教    者 | 黄    曙                                      |
| 教案序号   | 第    20    教案                               |
| 教学目的   | 1、了解尺寸链的定义<br>2、掌握尺寸链的分类<br>3、              |
| 重点难点   | 1、尺寸链的定义<br>2、工艺尺寸链、零件尺寸链<br>3、直线尺寸链、长度尺寸链等 |
| 作    业 | 1、P189.10<br>2、                             |
| 复    习 |                                             |
| 导    入 |                                             |
| 后    记 |                                             |

## 第六节 工艺尺寸链

### 一、尺寸链的概念

#### 1. 尺寸链的定义

在机器设计及制造过程中,常涉及一些互相联系,相互依赖的若干尺寸的组合,通常把在零件加工或机器装配过程中互相联系且按一定顺序排列的封闭尺寸组合叫做尺寸链。尺寸链中的每个尺寸称为尺寸链的环,如图 7—13。

尺寸链中在装配过程或加工过程最后形成的一环叫做封闭环,常用  $A_0$  表示。

尺寸链中对封闭环有影响的全部环,叫做组成环,用  $A_1$ 、 $A_2$ 、...来表示。组成环又分为增环和减环。若该组成环的变动引起封闭环同向变动叫做增环。同向变动指该环增大时封闭环也增大,该环减小时封闭环也减小。若该组成环的变动引起封闭环反向变动叫做减环。反向变动指该环增大时封闭环减小,该环减小时封闭环增大。一般  $A_1$  是增环,  $A_2$  是减环,  $A_0$  是封闭环。增环常用  $\overline{A_i}$  表示,减环常用  $\underline{A_i}$  表示,如图 7—13 所示。

#### 2. 尺寸链的分类

##### (1) 按应用场合分

- ①工艺尺寸链 全部组成环为同一零件工艺尺寸所形成的尺寸链(如图 7—14、7—15a)。
- ②装配尺寸链 全部组成环为不同零件设计尺寸所形成的尺寸链(如图 7—15b)。
- ③零件尺寸链 全部组成环为同一零件设计尺寸所形成的尺寸链(如图 7—15c)。

##### (2) 按环的空间位置分

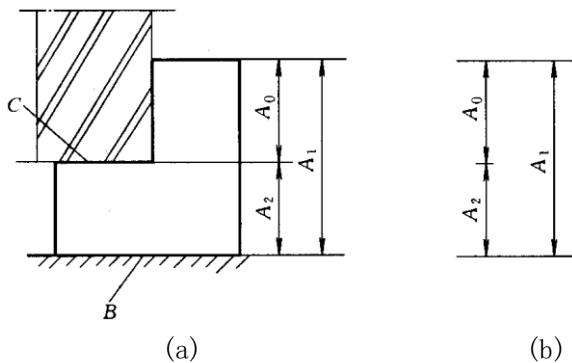


图 7—13 工艺尺寸链

①直线尺寸链 全部组成环平行于封闭环的尺寸链。这是工艺尺寸链中最常见的一种。(如图 7—13)。

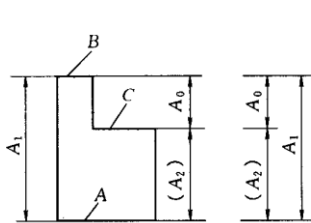
②平面尺寸链 全部组成环位于一个或几个平行平面内,其中某些组成环不平行于封闭环的尺寸链(如图 7—16)。

③空间尺寸链组成环位于几个不平行平面内的尺寸链。

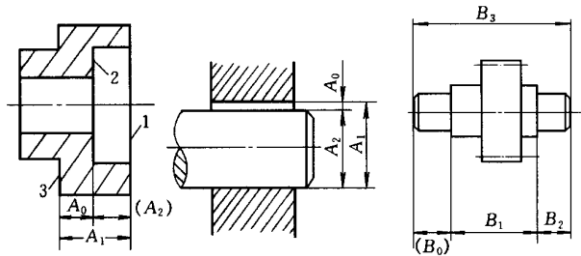
##### (3) 按环的几何特征分

①长度尺寸链 全部环为长度的尺寸链。

②角度尺寸链 全部环为角度的尺寸链(如图 7—17)。



(a) 台阶零件 (b) 尺寸链图  
7—14 零件加工过程的尺寸链图



(a) 工艺尺寸链 (b) 装配尺寸链 (c) 零件尺寸链图  
图 7—15 三种不同功能的尺寸链

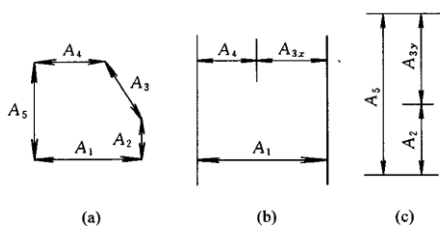


图 7—16 平面尺寸链

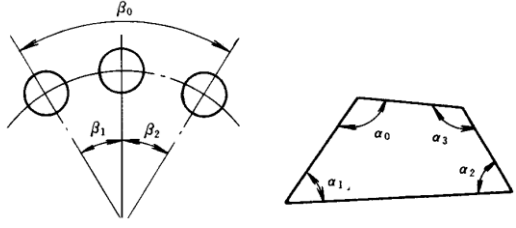


图 7—17 角度尺寸链

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                      |
|--------|--------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                           |
| 课    题 | 工艺尺寸链（二）—— 尺寸链的计算方法                  |
| 教    者 | 黄    曙                               |
| 教案序号   | 第    21    教案                        |
| 教学目的   | 1、掌握极值法<br>2、了解概率法<br>3、掌握计算工艺尺寸链的步骤 |
| 重点难点   | 1、用极值法计算工艺尺寸链<br>2、计算工艺尺寸链的步骤<br>3、  |
| 作    业 | 1、P189.12<br>2、                      |
| 复    习 |                                      |
| 导    入 |                                      |
| 后    记 |                                      |

## 二、尺寸链的计算方法

### 1. 极值法

极值法是按误差综合的两个最不利的极端情况，即各增环皆为最大极限尺寸而各减环皆为最小极限尺寸，以及各增环皆为最小极限尺寸而各减环皆为最大极限尺寸，来计算封闭环极限尺寸的方法。该法简便、可靠，但对组成环的公差要求过于严格。工艺尺寸链多用极值法计算。

(1) 封闭环的基本尺寸等于各增环尺寸之和减去各减环尺寸之和，即

$$A_0 = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{A_i} - \sum_{i=n+1}^{m-1} \overleftarrow{A_i}$$

式中：A<sub>0</sub>——封闭环基本尺寸；n——增环的环数；m——尺寸链的总环数；

$\overrightarrow{A_i}$ ——增环的基本尺寸； $\overleftarrow{A_i}$ ——减环的基本尺寸。

(2) 封闭环的最大值等于各增环的最大值之和减去各减环最小值之和。封闭环的最小值等于各增环最小值之和减去各减环最大值之和；即

$$A_{0\max} = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{A_{i\max}} - \sum_{i=n+1}^{m-1} \overleftarrow{A_{i\min}}$$

$$A_{0\min} = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{A_{i\min}} - \sum_{i=n+1}^{m-1} \overleftarrow{A_{i\max}}$$

(3) 封闭环的上偏差等于各增环上偏差之和减去各减环下偏差之和；封闭环的下偏差等于各增环的下偏差之和减去各减环的上偏差之和；即

$$ES_0 = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{ES_i} - \sum_{i=n+1}^{m-1} \overleftarrow{EI_i}$$

$$EI_0 = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{EI_i} - \sum_{i=n+1}^{m-1} \overleftarrow{ES_i}$$

(4) 封闭环的公差等于各组成环公差之和，即

$$T_0 = \sum_{i=1}^{m-1} T_i$$

### 2. 概率法

概率法就是利用概率论原理进行尺寸链计算的一种方法。此种方法计算科学、

经济效果好。主要用于组成环数较多的场合，如装配尺寸链中。基本公式为

$$A_0 = \sum_{i=1}^n \vec{A}_i - \sum_{i=n+1}^{m-1} \vec{A}_i$$

$$T_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} T_i^2}$$

### 3. 计算工艺尺寸链的步骤

工艺尺寸链的计算一般有以下两种情况：

(1) 已知全部组成环的尺寸，求封闭环的尺寸，称为正计算，多用于验算、校核设计的正确性。

(2) 已知封闭环的尺寸，求组成环的尺寸，称为反计算，多用于工序设计。

计算工艺尺寸链的步骤：

①绘尺寸链 根据零件图，按照零件各表面间的相互联系，绘出尺寸链。

②确定封闭环 尺寸链中间接得到的尺寸，不是前工序形成的，也不是本工序加工出的尺寸，而是由其他尺寸确定后自然形成的尺寸即是封闭环。

③确定增、减环 可先在封闭环上任意设定一个方向，然后循此方向由封闭环出发经过各组成环作一环线直至回到封闭环。若该环线前进的方向与设定的封闭环方向相同，则该组成环是减环，若两者方向相反，则该环为增环。如图 7—18

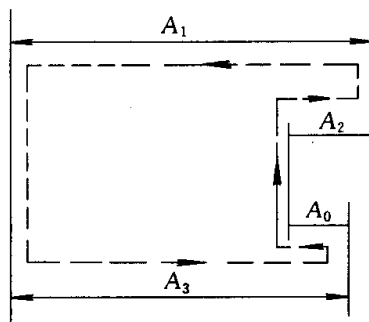


图 7-18 增减环的判断图

所示， $A_0$ 是封闭环， $A_1$ 是减环， $A_2$ 、 $A_3$ 是增环。

④计算 利用公式，根据已知条件求未知尺寸。

⑤校核 分析验算，若不合理，找出原因进行修正。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                                                            |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                                                                 |
| 课    题 | 工艺尺寸链（三）—— 工艺尺寸链的应用                                                                        |
| 教    者 | 黄    曙                                                                                     |
| 教案序号   | 第  22~23  教案                                                                               |
| 教学目的   | 1、掌握定位基准与设计基准不重合时工序尺寸的换算<br>2、掌握测量基准与设计基准不重合时的工艺尺寸换算<br>3、了解多尺寸同时保持工艺尺寸链的换算<br>4、了解加工余量的校核 |
| 重点难点   | 1、定位基准与设计基准不重合时工序尺寸的换算<br>2、测量基准与设计基准不重合时的工艺尺寸换算<br>3、多尺寸同时保持工艺尺寸链的换算                      |
| 作    业 | 1、P189.13<br>2、P189.14<br>3、P190.15<br>4、P190.16                                           |
| 复    习 |                                                                                            |
| 导    入 |                                                                                            |
| 后    记 | 此计算能力非常重要，要多加练习                                                                            |

### 三、工艺尺寸链的应用

#### 1. 定位基准与设计基准不重合时工序尺寸的换算

零件加工时，当定位基准与设计基准不重合时，需进行工序尺寸的换算。

**例 1** 图 7—19a 所示为阶梯板的零件图。首先以表面 A 为基准加工表面 B，保证工序尺寸  $80_{-0.15}^0 \text{mm}$ ；为了定位与调整方便，用表面 A 为基准加工表面 C，表面 B 与表面 C 之间的设计尺寸为  $40_{0}^{+0.25} \text{mm}$ 。问工序尺寸  $A_1$  为多少，才能保证设计尺寸？

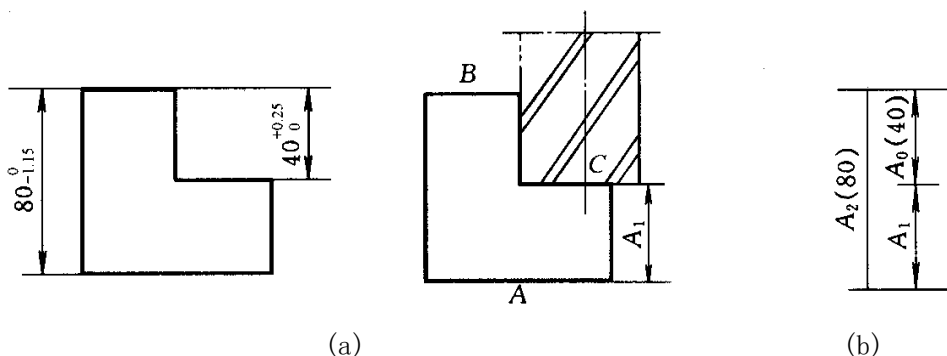


图 7—19 尺寸链计算示例

解：依题意画出尺寸链如图 7—19b，其中 40 为封闭环， $A_1$  为减环， $A_2(80\text{mm})$  为增环。由前述公式有

$$A_0 = A_2 - A_1$$

$$A_1 = A_2 - A_0 = (80 - 40) \text{mm} = 40 \text{ mm}$$

$$ES_0 = ES_2 - EI_1$$

$$EI_1 = ES_2 - ES_0 = (0 - 0.25) \text{mm} = -0.25 \text{ mm}$$

$$EI_0 = EI_2 - ES_1$$

$$ES_1 = EI_2 - EI_0 = (-0.15 - 0) \text{mm} = -0.15 \text{ mm}$$

所以  $A_1 = 40_{-0.25}^{-0.15} \text{mm}$

可以看出，画好尺寸链图，判断出封闭环、增、减环，就可以方便地对问题进行计算。

#### 2. 测量基准与设计基准不重合时的工艺尺寸换算

在加工时，若零件图样上给出的设计尺寸直接测量有困难时，这时设计尺寸就不能做工序尺寸，而需进行尺寸换算。在换算后，应能保证设计尺寸的要求。

**例 2** 图 7-20a 所示轴套工件，在车床上已加工好外圆、内孔及各表面，现需在铣床上以端面 A 定位铣出表面 C，保证尺寸  $20_{-0.2}^0 \text{mm}$ ，试计算铣此缺口时的工序尺寸。

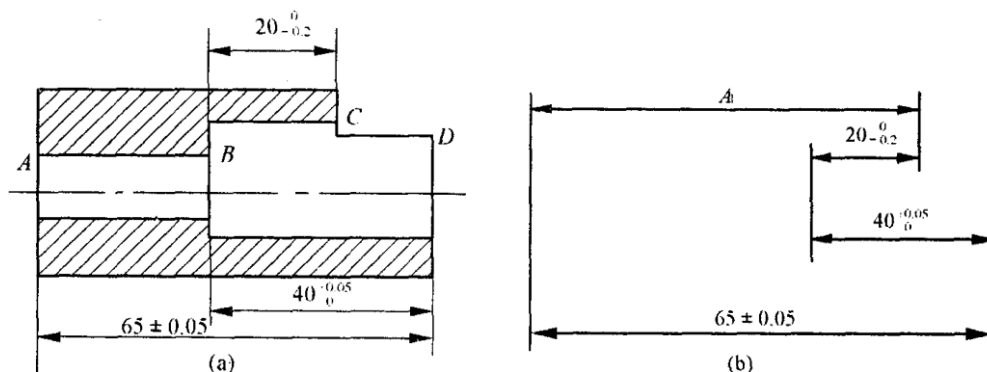


图 7—20 尺寸链计算示例

解：面 c 的位置尺寸是由表面 B 标注的。表面 B 为表面 C 的设计基准。铣缺口的定位基准为 A 面，故设计基准与定位基准不重合，需进行工艺尺寸换算。工序尺寸应由 A 面标出。由有关尺寸所组成的尺寸链如图 7—20(b) 所示。

在加工中尺寸  $20_{-0.2}^0$  是间接得到的，故为封闭环。 $A_1$ 、 $40_{+0.05}^0$  为增环， $65 \pm 0.05$  为减环。 $A_1$  可以通过下列步骤求出：

$$20 = A_1 + 40 - 65 \quad A_1 = 45$$

$$0 = ES_1 + 0.05 - (-0.05) \quad ES_1 = -0.1$$

$$-0.2 = EI_1 + 0 - 0.05 \quad EI_1 = -0.15$$

校核： $0.2 = 0.05 + 0.05 + 0.1$ ，封闭环公差等于组成环公差之和。

$$\text{工序尺寸 } A_1 = 45_{-0.15}^{-0.1} = 44.9_{-0.05}^0$$

### 3. 多尺寸同时保持工艺尺寸链的换算

零件图上有时存在几个尺寸从同一基准面进行标注，当该基准面精度和表面质量要求较高时，它往往是在工艺过程的精加工阶段进行最后加工。这样，在进行该面最终一次加工时，要同时保证几个设计尺寸，其中只有一个设计尺寸可以直接保证，其他只能间接获得，需要进行尺寸计算。

**例 3** 要求在轴上铣一个键槽，如图 7—21a 所示。加工顺序为车削外圆  $A_1 = \Phi 70.5_{-0.1}^0$  mm；铣键槽尺寸为  $A_2$ ；磨外圆  $A_3 = \Phi 70_{-0.06}^0$  mm，要求磨外圆后保证键槽尺寸为  $N = 62_{-0.3}^0$ ，求键槽尺寸  $A_2$ 。

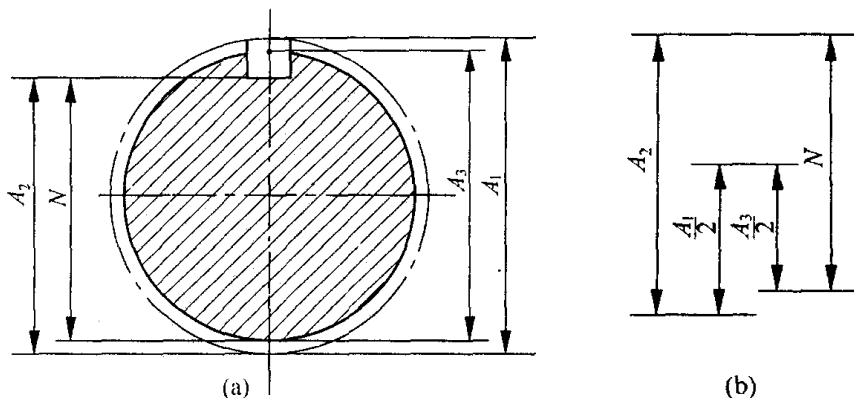


图 7—21 键槽加工尺寸计算

解：首先画出尺寸链如图 7—21 (b) 所示。在加工过程中，键槽尺寸  $N$  为封闭环， $A_2$  和  $A_3/2 = 35_{-0.03}^0$  为增环， $A_1/2 = 35.25_{-0.05}^0$  为减环，计算如下

$$62 = A_2 + 35 - 35.25 \quad A_2 = 62.25$$

$$0 = ESA_2 + 0 - (-0.05) \quad ESA_2 = -0.05$$

$$-0.3 = EIA_2 + (-0.03) - 0 \quad EIA_2 = -0.27$$

校核  $0.3 = 0.05 + 0.22 + 0.03$  封闭环公差等于组成环公差之和。

$$\text{键槽尺寸 } A_2 = 62.25_{-0.27}^{-0.05} = 62.5_{-0.52}^{-0.3}$$

#### 4. 加工余量的校核

当采用不同的工序基准多次加工某一表面时，本工序的加工余量变动，不仅与本工序和上工序的公差有关，而且与其他有关工序公差有关。在以加工余量为封闭环的工艺尺寸链中，组成环数目增多，由于积累误差，有可能使本工序的余量过大或过小，故必须对加工余量进行校核。

**例 4** 如图 7—22a 所示小轴，其轴向尺寸加工过程为：

①车端面 A；

②车台阶面 B (保证尺寸  $49.5_{0}^{+0.3}$  mm)；

③车端面 C，保证总长  $80_{-0.2}^0$  mm；

④磨阶台面 B，保证尺寸  $30_{-0.14}^0$  mm，试校核阶台面 B 的加工余量。

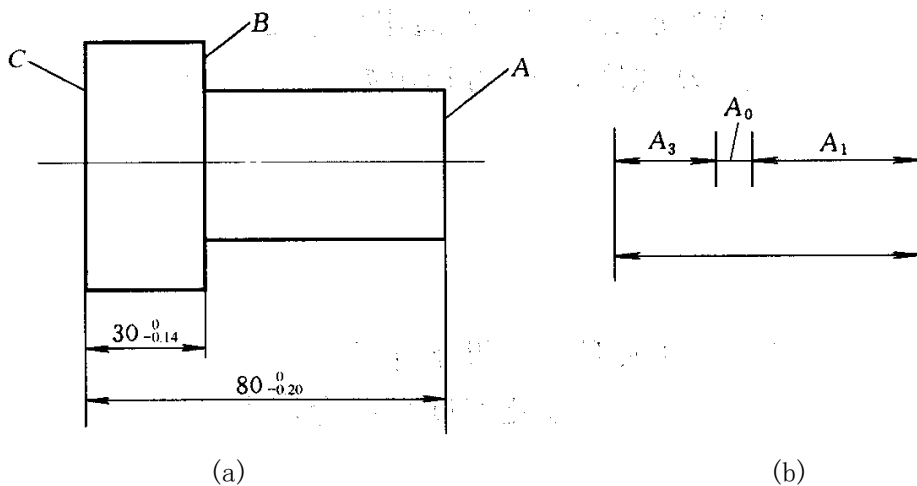


图 7—22 精加工余量校核实例

解：画尺寸链，如图 7—22b 所示，由于  $A_0$  是间接获得的，为封闭环  $80_{-0.2}^0$  mm 为增环， $49.5_{-0.3}^{+0.3}$  mm、 $30_{-0.14}^0$  mm 为减环。

$$\begin{aligned} A_0 &= (80 - 49.5 - 30) \text{ mm} = 0.5 \text{ mm} \\ ES_{A0} &= [0 - (0 - 0.14)] \text{ mm} = +0.14 \text{ mm} \\ EI_{A0} &= [-0.2 - (0 + 0.3)] \text{ mm} = -0.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

故  $A_0 = 0.5_{-0.5}^{+0.14}$ ， $A_{0\max} = 0.64 \text{ mm}$ ， $A_{0\min} = 0$ 。

因为  $A_{0\min} = 0$ ，在磨阶台面 B 时，有的零件磨不着，因而要将余量加大，现取  $A_{0\min} = 0.10 \text{ mm}$ ，则

$$\begin{aligned} EI_{A0} &= A_{0\min} - Z_0 = (0.1 - 0.5) \text{ mm} = -0.4 \text{ mm} \\ &- 0.2 \text{ mm} - 0 - ESA = -0.4 \text{ mm} \\ ESA &= +0.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

即可将中间工序尺寸改为  $A_1 = 49.5_{-0.2}^{+0.2}$  mm，以确保有最小的磨削余量 0.1 mm。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                             |
|--------|-------------------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                                  |
| 课    题 | 机床及工装的选择、确定切削用量                                             |
| 教    者 | 黄    曙                                                      |
| 教案序号   | 第    24    教案                                               |
| 教学目的   | 1、机床的选择<br>2、工艺装备的选择<br>3、粗加工切削用量的选择<br>4、精加工切削用量的选择        |
| 重点难点   | 1、机床的选择<br>2、工艺装备的选择<br>3、 $a_p$ 、 $f$ 、 $v_c$ 在粗加工和精加工中的选择 |
| 作    业 | 1、P190.17<br>2、                                             |
| 复    习 |                                                             |
| 导    入 |                                                             |
| 后    记 |                                                             |

## **第七节 机床及工艺装备的选择**

### **一、机床的选择**

(1) 所选机床的技术规格应与工件的尺寸相适应。小零件应选小的机床，大零件应选大的机床，做到设备合理使用。

(2) 所选机床的精度应与工件精度相适应。对于高精度的工件，在缺乏精密设备时，可通过设备改造，以粗干精。

(3) 所选机床的生产率应与零件的生产类型相适应。单件小批生产一般选择通用设备，大量生产宜选高生产率的专用设备。

(4) 机床的选择应结合现场实际情况。例如设备的类型、规格及精度状况，设备负荷的平衡情况以及设备分布排列情况等。

(5) 合理选用数控机床和特种加工机床。在通用机床无法加工、难加工、质量难以保证情况下，或当加工效率要求高，工人劳动强度大时，可选用数控机床，或以声、光、电能等直接对工件进行加工的特种加工机床。

### **二、工艺装备的选择**

#### **1. 夹具的选择**

单件小批生产，应尽量选择通用夹具。如果条件具备，为了提高生产率和加工精度，可选用组合夹具。大量生产，应选择生产率和自动化程度高的专用夹具。多品种中小批生产可选用可调夹具或成组夹具。

#### **2. 刀具的选择**

一般应选用标准刀具，必要时可选择各种高生产率的刀具及其他一些专用刀具。刀具的类型、规格及精度应与工件的加工要求相适应。

#### **3. 量具的选择**

单件小批生产应广泛采用通用量具，如游标卡尺、百分尺和百分表等。大量生产应采用各种量规和高效的专用检验夹具和量仪等。量具的精度必须与加工精度相适应。

## **第八节 确定切削用量**

通过合理地选择切削用量，可提高切削效率，保证刀具耐用度和工件的加工质量，从而提高经济效益。单件小批生产中，为简化工艺文件一般不具体规定切削用量，由操作工人根据具体情况确定。大批生产中，为充分利用高生产率设备的潜力及高精度机床的作用，必须科学地、严格地确定切削用量，其确定原则如下：

### **一、粗加工**

粗加工毛坯余量大，加工精度和表面粗糙度要求不高。因此，粗加工切削用量的确定应在保证必要的刀具耐用度的前提下，尽可能提高生产率和降低成本。

#### **1. 背吃刀量 $a_p$ 的选择**

粗加工时的背吃刀量由工件的加工余量和工艺系统的刚度决定。在保留半精加工、精加工余量的前提下，尽可能将粗加工余量一次切除，以使进给次数最少。只

有在总余量太大，而工艺系统刚性又不足时，为避免振动，才考虑分几次进给。

2. 进给量  $f$  的选择

粗加工时进给量的选择主要受切削力的限制，选择时应考虑机床进给机构的刚度、刀杆尺寸、刀片厚度、工件的直径和长度等。在工艺系统刚度允许的情况下，应选用大一些的进给量，否则应适当减小进给量。

3. 切削速度  $v_c$  的选择

粗车时，切削速度受刀具耐用度和机床功率的限制。当机床功率足够时，切削速度主要受刀具耐用限制。

## 二、精加工

在精加工时，加工精度和表面粗糙度的要求都较高，加工余量小而均匀。因此，确定精加工切削用量时，应在保证质量的前提下，提高生产率。

1. 背吃刀量  $a_p$  的选择

$a_p$  由粗加工后留下的余量决定，一般  $a_p$  不能太大，否则会影响加工质量。

2. 进给量  $f$  的选择

限制进给量提高的主要因素是表面粗糙度。因此，进给量  $f$  是根据加工表面粗糙度的要求、刀尖圆弧半径  $r_\epsilon$ 、工件材料、主偏角及副偏角等由《机械加工工艺手册中》有关表格查取的。

3. 切削速度  $v_c$  的选择

精车时，机床功率足够，切削速度主要受刀具耐用度的限制。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                                                        |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                                                             |
| 课    题 | 轴类零件加工--- 了解轴类零件                                                                       |
| 教    者 | 黄    曙                                                                                 |
| 教案序号   | 第    25    教案                                                                          |
| 教学目的   | 1、掌握轴类零件的结构特点<br>2、了解轴类零件的功用<br>3、掌握轴类零件技术要求<br>4、提高轴类零件加工生产率的措施                       |
| 重点难点   | 1、轴类零件的结构特点<br>2、轴类零件的功用<br>3、轴的尺寸公差、几何形状公差和相互位置公差<br>4、轴各表面的表面粗糙度<br>5、提高轴类零件加工生产率的措施 |
| 作    业 | 1、P241.1<br>2、P242.2                                                                   |
| 复    习 |                                                                                        |
| 导    入 |                                                                                        |
| 后    记 |                                                                                        |

## 第八章 典型零件加工

### 第一节 轴类零件加工

#### 一、了解轴类零件

##### (一)轴类零件的结构特点

轴类零件是机械加工中最典型、最常见的零件之一，一般由圆柱面、阶台、端面、沟槽等结构组成。轴类零件大都是回转体零件，其长度远大于直径，其主要表面是同轴线的若干外圆柱面、圆锥表面、孔和螺纹等。

##### (二)轴类零件的功用

轴类零件主要用来支承传动零部件，传递扭矩和承受载荷。根据结构形状的不同，轴类零件可分为光轴、阶梯轴、空心轴和曲轴等。机床主轴是一种典型的轴类零件，是机床的关键零件之一，它把回转运动和转矩通过主轴端部的夹具传递给工件或刀具。所以，主轴的制造质量将直接影响到整台机床的工作精度和使用寿命。

##### (三)轴类零件技术要求

轴类零件是同轴线的回转体零件，在机械加工中经常遇到有外圆柱面、圆锥面、内孔和螺纹等加工。轴类零件与其他所有零件一样其主要技术要求有：

(1) 尺寸公差、几何形状公差和相互位置公差。

(2) 表面粗糙度及其他表面质量要求。

(3) 材料、热处理及其他方面的要求。

此外，根据不同的用途和结构，轴类零件还规定有不同的技术要求，因此，应采取各种相应的加工方法来加工。下面以车床主轴为例，介绍轴类零件的主要技术要求。

#### 1. 主轴支承轴颈的精度

**定位精度** 一般主轴是以三个支承轴颈确定它的主轴箱中的径向位置的，轴向由前支承轴肩定位。支承轴颈的公差一般要求达到 IT5 级。

**形位精度** 由于支承轴颈的形位误差将会影响主轴的回转精度，如轴颈圆度误差会直接反映到工件上去，采用滑动轴承支承时更甚，故规定了主轴支承轴颈的圆度和素线的平行度，普通机床应小于尺寸公差的  $1/2$ ，较高精度的机床为  $1/4$ ，高精度的机床为  $1/10$ 。一般主轴颈的圆度和素线平行度误差，卧式车床为  $5\sim 8\mu\text{m}$ ，精密外圆磨床不超过  $1\mu\text{m}$ 。各主轴颈的同轴度误差将会造成主轴径向圆跳动，故规定了同轴度公差，普通机床为  $0.005\sim 0.1\text{mm}$ ，精密机床为  $1\sim 5\mu\text{m}$ 。

主轴轴肩和轴承端面对主轴回转轴线的垂直度误差将会使主轴产生端面跳动。从理论上讲，主轴回转时总是垂直度误差较大者的最高点在另一方的表面上滑动，因此，端面跳动总是取较小的数值。如图 8—1 所示，设  $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$  分别为主轴轴肩和轴承端面对主轴回转轴线的垂直度误差。当  $\Delta 1$  或  $\Delta 2$  中任意一个为零时，主轴将没有端面跳动。但实际上，由于间隙的存在，只要有  $\Delta 1$  或  $\Delta 2$ ，主轴就会发生端面跳动，从而影响工件端面加工的平面度和表面粗糙度，并在车螺纹时造成螺距误差。

因此，应规定其轴向定位表面的垂直度误差，对于普通车床，小于  $6\text{ }\mu\text{m}$ ，对于精密机床，则为  $2\sim 3\text{ }\mu\text{m}$ 。

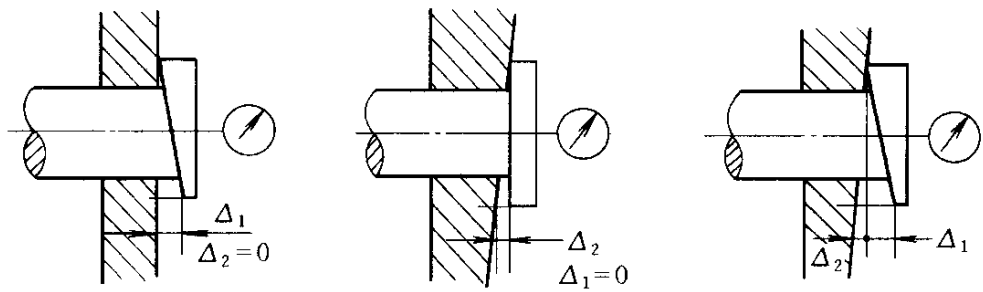


图 8—1 端面垂直度误差的影响

2. 主轴工作表面的精度

主轴的工作表面是指装夹刀具或夹具的定心表面，如莫氏锥孔、轴端外锥或发兰外圆等。对它们的要求有：内外锥面的尺寸精度、几何形状精度和接触精度，定心表面对支承轴径的同轴度，定位端面对轴径轴线的垂直度等。它们对机床工作精度的影响会造成夹具或工件的装夹误差。在主轴的技术要求中还规定了近主轴端部的径向圆跳动和距端部  $300\text{ mm}$  处的径向圆跳动。另外，为了保证锥孔与顶尖或刀具锥柄接触良好，规定须用标准锥度塞规以涂色法检验接触面积，具体要求如表 8—1 所示。

表 8—1 主轴莫氏锥孔的精度要求

| 机床类别 | 莫氏锥孔对主轴颈的径向圆跳动 / mm |                     | 莫氏锥孔的接触面积 / % |
|------|---------------------|---------------------|---------------|
|      | 近主轴端                | 距轴端 $300\text{ mm}$ |               |
| 普通机床 | $0.005\sim 0.01$    | $0.01\sim 0.03$     | $65\sim 80$   |
| 精密机床 | $0.002\sim 0.005$   | $0.005\sim 0.01$    | $>85$         |

3. 主轴次要轴颈和其他表面的精度

主轴次要轴颈是指装配齿轮、轴套等零件的表面。它们的尺寸公差等级要求一般为 IT7 级，圆度公差为  $0.01\text{ mm}$ 。主轴上的螺纹一般是用来固定零件或调整轴承间隙的，若螺纹精度不符合要求，螺旋副间隙增大，会影响主轴回转精度。例如当用调整螺母调整轴承间隙时，其端面会使被压紧的轴承套圈倾斜，从而使主轴径向圆跳动增大。这不但会影响工件的加工精度，而且也会降低轴承寿命。因此主轴螺纹的公差尺寸等级一般为 6 级，相对主轴颈的同轴度公差不超过  $0.025\sim 0.05\text{ mm}$ ，相应的螺母支承端面的跳动在  $500\text{ mm}$  半径上小于  $0.025\text{ mm}$ 。

4. 主轴各表面的表面粗糙度

不同精度机床的主轴各表面的表面粗糙度值  $R_a$  见表 8—2。

5. 主轴表面硬度、材料及毛坯

(1) 硬度 主轴的各轴颈表面、工作表面及其他滑动表面都会受到不同程度的摩擦。在滑动轴承配合中，轴颈与轴瓦发生摩擦，要求轴颈表面耐磨性要高，其硬度

## 沅江市职业中专机械加工技术教案

表 8—2 主轴各表面的表面粗糙度值 Ra  $\mu\text{m}$

| 主轴表面类别 |      | 普通车床    | 精密机床       |
|--------|------|---------|------------|
| 主轴颈    | 滑动轴承 | 0.2~0.1 | 0.05~0.025 |
|        | 滚动轴承 | 0.4     | 0.2        |
| 工作表面   |      | 0.8~0.4 | 0.2~0.1    |
| 其他配合表面 |      | 1.6~0.8 | 0.4~0.2    |
| 一般表面   |      | 6.3~3.2 | 3.2~0.8    |

则可视轴瓦材料而异。

滚动轴承配合，轴颈表面硬度一般为 40~50HRC。

滑动轴承配合，如巴氏合金轴瓦较软，轴颈表面硬度可低些；若轴瓦采用较硬的锡青铜，则轴颈表面硬度应大于 60HRC；采用钢套轴承时，轴颈表面硬度应更高，如镗床主轴采用渗氮处理后，其硬度大于 900HV。

定心表面，硬度一般要求在 45HRC 左右。

(2) 材料 主轴材料通常采用 45、40MnB、40Cr 等牌号的钢材。其中 40MnB、40Cr 的淬透性较好，经调质和表面高频淬火后可获得较高的综合力学性能和耐磨性。当要求主轴在高精度、高转速和重载荷下工作时，可选用 18CrMnTi、20Cr、20MnB 等牌号的低碳合金钢。精密主轴可选用 38CrMoAlA 渗氮钢。

(3) 毛坯 主轴毛坯多采用锻件，生产批量较小时采用自由锻，但毛坯精度较差，余量较大；采用胎模锻可以锻造形状较复杂的毛坯，加工余量也较少。

### (四) 提高轴类零件加工生产率的措施

零件表面的加工余量主要是靠车削切除的，因此，车削的劳动量占零件加工总劳动量的大部分，尤其是多台阶轴类的零件加工，所以，要提高生产率解决车削中的相关问题就很重要。

(1) 刀具材料选用硬度高、耐磨性和热稳定性好的新型材料进行高速车削。

(2) 采用多刀切削，在一次进给中同时车削几个不同的外圆表面，可缩短机动时间和辅助时间，大大提高了生产率。

(3) 采用机械夹固式车刀、多角形可转位车刀等，以充分发挥硬质合金的作用，缩短刃磨刀具和更换刀具的辅助时间。

(4) 应用强力切削加大背吃刀量和进给量来提高切削效率。。

(5) 采用液压仿形。仿形加工可以车削外圆柱表面、外圆锥面、成形表面等，是一种较先进的加工工艺，能大大减轻劳动强度，减少测量工件的辅助时间，提高生产率。常见的有机械靠模仿形和液压仿形。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                           |
|--------|---------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                |
| 课    题 | 轴类零件加工—— 外圆表面的车削加工        |
| 教    者 | 黄    曙                    |
| 教案序号   | 第    26    教案             |
| 教学目的   | 1、外圆表面的车削工艺顺序<br>2、<br>3、 |
| 重点难点   | 1、粗车<br>2、半精车<br>3、精车     |
| 作    业 | 1、实训加工<br>2、              |
| 复    习 |                           |
| 导    入 |                           |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生实车            |

## 二、轴类零件外圆表面的加工方法

### (一)外圆的车削

加工轴类零件时，一方面要保证零件图上要求的尺寸精度和表面粗糙度，还应保证形状和位置公差的要求，如轴的圆柱部分应为较理想的圆柱面；阶梯轴的各段回转轴线须为同一轴线；端面也应垂直于回转轴线等。车削轴类零件外圆表面的大致工艺顺序为：荒车→粗车→半精车→精车→精细车。对于每一个具体工件来说，不一定要经过全部的加工阶段，应根据零件图要求选择加工工序。

#### 1. 荒车

对于毛坯为自由锻或大型铸件的被加工零件，有很大的加工余量，需要通过荒车切除大部分余量，以减少偏差和表面形状误差。荒车后尺寸公差为 IT17~IT15。

#### 2. 粗车

对于中小型的锻件和铸件，可以直接进行粗车。公差等级可达 IT11，表面粗糙度值  $R_a$  为 50~12.5  $\mu\text{m}$ 。可作为低精度表面的最终工序。

#### 3. 半精车

半精车后的工件公差等级为 IT10~IT8，表面粗糙度值  $R_a$  为 6.3~3.2  $\mu\text{m}$ 。半精车可作为中等精度表面的最终工序，又可作为磨削和其他精加工工序以前的预加工。

#### 4. 精车

精车可作为光整加工的预加工，又可作为最终加工工序。工件公差等级为 IT8~IT7，表面粗糙度值  $R_a$  为 1.6~0.8  $\mu\text{m}$ 。

#### 5. 精细车

工件公差等级为 IT7~IT6，表面粗糙度值  $R$  以为 0.8~0.2  $\mu\text{m}$ 。精细车能获得精确的外圆表面，往往可作为最终加工工序。

采用高速细车削是加工小型有色金属工件的主要方法，它比加工钢料和铸铁件能获得更高的表面质量，其表面粗糙度值  $R_a$  为 0.4~0.1  $\mu\text{m}$ 。在加工大型精确的外圆表面时，细车能代替磨削。

由于细车所使用的车床具有较高的精度和刚性，并且刀具具有较高的耐磨性，同时在高的切削速度下，采用小的背吃刀量和进给量，因而减少了切削过程中的发热、积屑瘤、弹性变形和残留面积，从而使零件获得较高的精度和表面质量(参考指标：切削速度 100 m/min，背吃刀量 0.05~0.3 mm，进给量 0.02~0.2 mm/r)。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                               |
|--------|-----------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                    |
| 课    题 | 细长轴的车削                                        |
| 教    者 | 黄    曙                                        |
| 教案序号   | 第  27  教案                                     |
| 教学目的   | 1、了解细长轴的结构特点<br>2、掌握细长轴的加工特点<br>3、熟悉保证车削质量的措施 |
| 重点难点   | 1、细长轴的结构特点<br>2、细长轴的加工特点<br>3、改进刀具几何参数车削细长轴   |
| 作    业 | 1、P242.3<br>2、                                |
| 复    习 |                                               |
| 导    入 |                                               |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生实车                                |

## **(二) 细长轴的车削**

### **1. 结构特点**

通常把零件长度  $L$  与直径  $d$  的比值  $L/d$  大于 20 的轴称为细长轴。

### **2. 加工特点**

(1) 细长轴刚性差，在车削时很容易受到切削力和重力的作用而引起弯曲变形，产生振动，从而影响加工精度和表面质量。

(2) 细长轴热变形量大，在切削热的作用下，会产生较大的膨胀。如果轴两端用固定支承，则会受挤压而产生弯曲变形。当轴以高速旋转时，所引起的离心力会加剧轴的变形。

(3) 细长轴在高速、小进给量精车时，刀具容易磨损，从而影响工件的尺寸精度和形状精度。

### **3. 保证车削质量的措施**

根据以上几个方面特点，车削细长轴时通常应采取如下措施：

(1) 改进刀具几何参数 车削时增大主偏角 ( $k_r=83^\circ \sim 93^\circ$ )，加大前角 ( $\gamma_o=15^\circ \sim 30^\circ$ ) 并使刃倾角  $\lambda_s=+3^\circ \sim +10^\circ$ ，刀尖半径  $r_\epsilon < 0.3\text{ mm}$ ，倒棱宽度  $b_{r1}=0.1 \sim 0.3\text{ mm}$ 。这些角度和尺寸的改进，能使背向力减小，从而减少或避免工件产生弯曲变形和振动。在前面上磨  $R1.5 \sim R3\text{ mm}$  的断屑槽，可方便排屑。

选用硬度高、耐磨性和热稳定性好的材料，如陶瓷、金刚石、立方氮化硼等刀片，进行高速切削。

采用机械夹具固定车刀、多角形可转位车刀等，以充分发挥硬质合金的作用，缩短磨刀具和更换刀具的辅助时间。

(2) 减少装夹接触面积 在细长轴左端外圆上套上约  $\Phi 4\text{ mm} \times 20\text{ mm}$  的钢丝圈，利用三爪自定心定心卡盘夹紧，可减少外圆与卡爪间的接触面积，并能自由调节其方位，避免夹紧时形成弯曲力矩。尾座顶尖改用有弹性自动伸缩的活顶尖，可使工件因受切削热产生线膨胀时能向后移动，避免热膨胀引起的弯曲变形。选用三个支承块的跟刀架，可增加工件的刚性、平衡切削时产生的径向力、减小切削振动和工件变形误差。

(3) 采用反向车削 由于细长轴左端固定在卡盘内，右端可伸缩，因此采用反向进给时，工件受拉力，不易产生弹性弯曲变形。从受力分析来看，反向进给的平稳性比正向进给好。

(4) 适当减小背吃刀量和进给量 由于细长轴的刚性差，因此，减小背吃刀量和进给量，也能使背向力变小。

(5) 使用对刀切削法车削 使用对刀法指在工件两侧用两柄车刀对顶车削，两刀尖距就是工件的直径，这样可使两刀的背向力相互抵消，车出的工件圆柱度误差小。

(6) 使用跟刀架 一般长度细长轴可采用两爪跟刀架，较长的细长轴可采用三爪跟刀架。

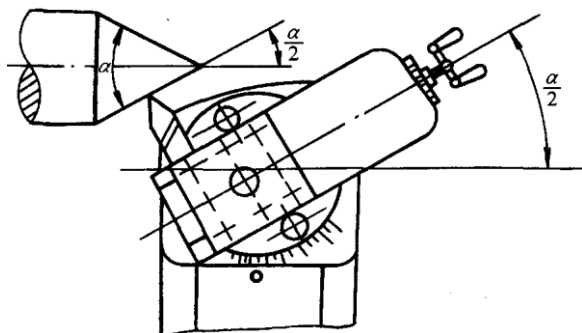
沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                                          |
|--------|--------------------------------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                                               |
| 课    题 | 转动小滑板法车削圆锥面                                                              |
| 教    者 | 黄    曙                                                                   |
| 教案序号   | 第    28    教案                                                            |
| 教学目的   | 1、了解转动小滑板车圆锥体的特点<br>2、掌握小滑板转动角度的计算<br>3、掌握转动小滑板车外圆锥体的方法<br>4、熟悉看图和确定加工步骤 |
| 重点难点   | 1、转动小滑板车圆锥体的特点<br>2、小滑板转动角度的计算<br>3、转动小滑板的方法<br>4、加工步骤                   |
| 作    业 | 1、实训加工<br>2、                                                             |
| 复    习 |                                                                          |
| 导    入 |                                                                          |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生实车                                                           |

### (三) 圆锥面的车削

锥面车削的方法有：小滑板转位法、偏移尾座法、宽刀法和靠模法等四种，这里介绍前两种最为常用的方法：

#### (I)、转动小滑板车外圆锥



车较短的圆锥时，可以用转动小滑板法，车削时只要把小滑板按工件的圆锥半角  $\alpha / 2$  要求转动一个相应的角度如图 8-2 所示，使车刀的运动轨迹与所要车削的圆锥素线平行即可。

1. 转动小滑板车圆锥体的特点：

(1)能车圆锥角较大的工件。

图 8-2 转动小滑板车圆锥体

(2)能车出整锥体和圆锥孔，并且操作简便。

(3)只能手动进给，劳动强度大，工件表面粗糙度较难控制。

(4)因受小滑板行程限制，只能加工锥面不长的工件。

2. 小滑板转动角度的计算 根据被加工零件给定的已知条件，可应用下面公式计算圆锥半角，即

$$\operatorname{tg}(\alpha / 2) = (C/2) = (D-d)/2L$$

式中  $\alpha / 2$ ——圆锥半角；

C——圆锥体的锥度；

D——最大圆锥直径，简称大端直径(mm)；

d——最小圆锥直径，简称小端直径(mm)；

L——最大圆锥直径处与最小圆锥直径处的轴向距离(mm)。

应用上面公式计算出  $\alpha / 2$ ，须查三角函数表比较麻烦，如果  $\alpha / 2$  较小在  $1^\circ \sim 13^\circ$  之间，可以用乘上一个常数的近似方法来计算。即

$$\alpha / 2 = \text{常数} \times (D-d) / L$$

小滑板转动角度( $1^\circ \sim 13^\circ$ )近似公式常数可以从表 8-3 中查得。

车常用锥度和标准锥度时小滑板转动角度见表 8-4。

表 8-3 小滑板转动角度近似公式常数

| $(D-d)/L$ 或 C | 常 数   | 备 注                                                                 |
|---------------|-------|---------------------------------------------------------------------|
| 0.10~0.20     | 28.6° | 本表适用号在 $8^\circ \sim 13^\circ$ 之间，<br>$6^\circ$ 以下常数值为 $28.7^\circ$ |
| 0.20~0.29     | 28.5° |                                                                     |
| 0.29~0.36     | 28.4° |                                                                     |
| 0.36~0.40     | 28.3° |                                                                     |
| 0.40~0.45     | 28.2° |                                                                     |

3. 转动小滑板车外圆锥体的方法

(1) 车刀的装夹要求车刀刀尖必需严格对准工件的旋转中心，否则车出的圆锥素线将不是直线而是双曲线。

(2) 转动小滑板的方法

1) 用扳手将小滑板下面转盘螺母松开，把转盘转至需要的圆锥半角  $\alpha / 2$  的刻度，与基准零线对齐，然后锁紧转盘上的螺母。如锥角半径  $\alpha / 2$  的值不是整数，其小数部分用目测估计，但小滑板转动的角度值应略大于计算值。

2) 车削前应调整好小滑板的行程和镶条的松紧。应根据圆锥长度确定小滑板的行程长度，使车削时小滑板有足够的行程。小滑板镶条调整应松紧适度，过紧手动费力，移动不均匀；过松造成小滑板间隙太大。两者均会使车出的圆锥表面粗糙度值大且工件素线不平直。

(3) 车外圆锥面

1) 粗车外圆锥面 在粗车的同时逐步找正圆锥的角度。用小滑板车外圆锥面时，背吃刀量不要太大，手动进给速度要保持均匀和不断，在车削的同时逐步调

表 8 —4 车常用锥度和标准锥度时小滑板转动角度

| 名 称  |      | 锥 度        | 小滑板转动角度    | 名 称 |             | 锥 度    | 小滑板转动角度    |
|------|------|------------|------------|-----|-------------|--------|------------|
| 莫氏   | 0    | 1: 19. 212 | 1° 29' 27" | 标准  | 0° 17' 11"  | 1: 200 | 0° 08' 36" |
|      | 1    | 1: 20. 047 | 1° 25' 43" |     | 0° 34' 23"  | 1: 100 | 0° 17' 11" |
|      | 2    | 1: 20. 020 | 1° 25' 50" |     | 1° 8' 45"   | 1: 50  | 0° 34' 23" |
|      | 3    | 1: 19. 922 | 1° 26' 16" |     | 1° 54' 35"  | 1: 30  | 0° 57' 17" |
|      | 4    | 1: 19. 254 | 1° 29' 15" |     | 2° 51' 51"  | 1: 20  | 1° 25' 56" |
|      | 5    | 1: 19. 002 | 1° 30' 26" |     | 3° 49' 6"   | 1: 15  | 1° 54' 33" |
| 标准锥度 | 6    | 1: 19. 180 | 1° 29' 36" | 锥度  | 4° 46' 19"  | 1: 12  | 2° 23' 09" |
|      | 30°  | 1: 1. 866  | 15°        |     | 5° 43' 29"  | 1: 10  | 2° 51' 45" |
|      | 45°  | 1: 1. 207  | 22° 30'    |     | 7° 9' 10"   | 1: 8   | 3° 34' 35" |
|      | 60°  | 1: 0. 866  | 30°        |     | 8° 10' 16"  | 1: 7   | 4° 05' 08" |
|      | 75°  | 1: 0. 652  | 37° 30'    |     | 11° 25' 16" | 1: 5   | 5° 42' 38" |
|      | 90°  | 1: 0. 5    | 45°        |     | 18° 55' 29" | 1: 3   | 9° 27' 44" |
|      | 120° | 1: 0. 289  | 60°        |     |             |        |            |

整小滑板的角度，使工件锥度符合要求，并应留出精车余量。

2) 找正圆锥角度的方法

①用圆锥套规调整 当车至工件能塞进套规约  $1 / 2$  时，将套规轻轻套入工件上，用手捏住套规左右两端分别作上下摆动，通过感觉来判断套规与工件大、小端直径的配合间隙。如图 8-3a 所示大端有间隙，说明圆锥角小；如图 8-3b 所示小端有间隙，说明圆锥角大，微调小滑板角度，再进行车削。再次用套规检查，若左右两端摆动感觉不大时，可用涂色法进行检查调整。在工件表面顺着母线，相隔  $120^\circ$  薄而均匀的涂上三条显示剂，用套规插入转动半圈，根据擦痕情况判断圆锥角大小进行

调整，如果显示剂被均匀地擦掉，说明角度正确。假如工件大端显示剂被擦掉，小端显示剂没有接触，说明圆锥角调大，如小端显示剂被擦掉而大端没接触则说明圆锥角调小。

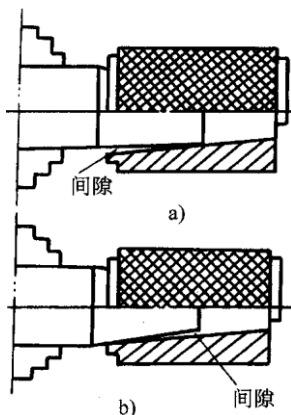


图 8-3 用圆锥套规调整角度

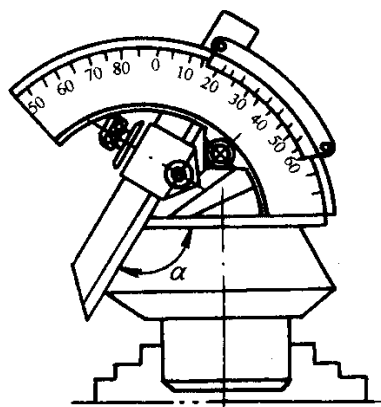


图 8-4 用万能游标量角器调整角度

②用万能游标量角器调整 对于角度零件或精度不高的圆锥表面可用万能游标量角器检查调整。根据被测角度调整好万能游标量角器角度，把尺的基面放在被测件的基准面上(轴心位置)用透光法检查微调角度尺刻度，使直尺或角尺与被测面靠平见图 8-4，通过角度尺的读数来微调小滑板的角度。

3) 车外圆锥面精度尺寸的控制 精车外圆锥面主要是提高工件的表面质量控制圆锥面的尺寸精度。

①用游标卡尺和千分尺控制锥长和工件大小端直径。测量直径的位置必须在锥体的最大端或最小端处。

②用界限套规控制尺寸。当锥度已找正，而大端或小端尺寸还未能达到要求时，需再车削，可用如下方法来解决其背吃刀量。

a. 算法用游标卡尺测量出工件端面至套规过端界限面的距离  $a$ ，见图 8-5，用算法计算出背吃刀量  $\alpha_p$

$$\alpha_p = a \tan(a/2) \quad \alpha_p = a \times (C/2)$$

然后移动中、小滑板，使刀尖轻触工件圆锥小端外圆表面后退出工件外，中滑板按  $\alpha_p$  值进给，小滑板手动进给精车圆锥面至尺寸，如图 8—6 所示。

b. 移动床鞍法 确定背吃刀量  $\alpha_p$  也可以利用移动床鞍法，即根据量出长度  $a$  见图 8—7a，使车刀接触工件小端平面，移动小滑板，使车刀沿轴向离开工件端面一个  $a$  值距离见图 8—7b，然后移动床鞍使车刀同工件小端平面接触见图 8—7c，此时虽然没有移动中滑板，但车刀已经切入了一个所需的深度。

4、看图和确定加工步骤

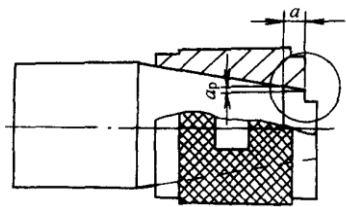


图 8-5 车外圆锥控制尺寸的方法

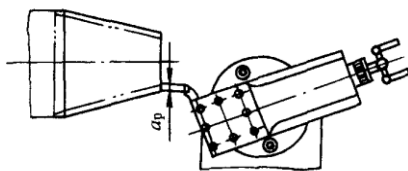
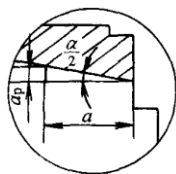


图 8-6 计算法车圆锥尺寸

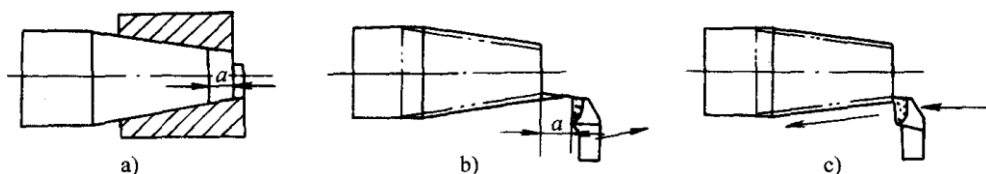


图 8-7 移动床鞍法控制锥体尺寸

1) 用转动小滑板法车圆锥体(图 8-8)加工步骤:

(1) 夹住工件外圆, 伸出长度在 50mm 左右。

(2) 粗、精车平面及  $\phi 40\text{mm}$  外圆长 25mm 至尺寸要求。

(3) 调头夹住  $\phi 40\text{mm}$  外圆长 18mm 左右, 车平面总长 100mm 至尺寸要求。

(4) 粗、精车外圆  $\phi 54_{-0.05}^0$  至尺寸要求。

(5) 小滑板转过半角 ( $\alpha / 2$ ), 车锥度至图样要求。

(6) 用角度尺检查。

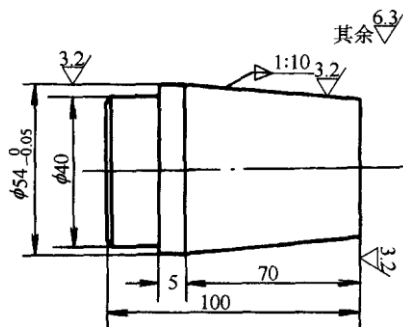


图 8-8 转动小滑板法车圆锥体

材料: 45 钢件数: 1

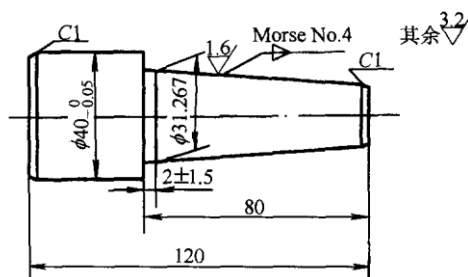


图 8-9 转动小滑板法车 4 号莫氏锥体

2. 用转动小滑板法车 4 号莫氏锥体(图 8-9)加工步骤:

(1) 用三爪自定心卡盘夹持外圆、伸出长度 50mm 左右, 找正夹紧。

(2) 车平面及粗、精车外圆  $\phi 40_{-0.05}^0$  mm 长 40mm 至尺寸要求, 倒角  $1 \times 45^\circ$ 。

(3) 夹住  $\phi 40_{-0.05}^0$  mm 外圆, 伸出长度 90mm 左右, 车平面保证总长 120mm, 车外圆  $\phi 32\text{mm}$  长 80mm。

(4) 小滑板逆时针转动圆锥半角  $\alpha / 2$ , 粗、精车外圆锥面至尺寸要求, 用标准

莫氏套规检测。

(5) 倒角  $1 \times 45^\circ$ 。

5、容易产生的问题和注意事项

(1) 车刀必须对准工件旋转中心，避免产生双曲线(圆锥素线不直)误差。

(2) 应两手握小滑板手柄，均匀移动小滑板，工件表面应一刀车出。

(3) 粗车时，进刀量不宜过大，应先找正锥度，以防工件车小而报废。一般留精车余量 0.5mm。

(4) 用游标万能角度尺、游标量角器检查锥度时，测量边应通过工件中心。用套规检查时，工件表面粗糙度值要小，涂色要薄而均匀，转动量一般在半圈之内，多则易造成误判。

(5) 在转动小滑板角度时应稍大于圆锥半角 ( $\alpha / 2$ )，然后逐步找正。当小滑板角度调整到相差不多时，只须把紧固螺母稍松一些，用左手拇指紧贴在小滑板转盘与中滑板底盘上，用铜棒轻轻敲小滑板需凭手指的感觉决定微调量，这样可较快的找正锥度。

(6) 小滑板不宜过松以防工件表面车削痕迹粗细不一。

(7) 防止扳手在板小滑板紧固螺母时打滑而撞伤手。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                      |
|--------|------------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                           |
| 课    题 | 偏移尾座法车圆锥体                                            |
| 教    者 | 黄    曙                                               |
| 教案序号   | 第    29    教案                                        |
| 教学目的   | 1、了解偏移尾座车圆锥体的特点<br>2、掌握偏移尾座车外圆锥面的方法<br>3、熟悉看图和确定加工步骤 |
| 重点难点   | 1、偏移尾座车圆锥体的特点<br>2、偏移尾座的方法<br>3、看图和确定加工步骤            |
| 作    业 | 1、实训加工<br>2、                                         |
| 复    习 |                                                      |
| 导    入 |                                                      |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生实车                                       |

## (II) 偏移尾座法车圆锥体

采用偏移尾座法车外圆锥面，须将工件装夹在两顶尖间，把尾座上滑板横向偏移一个距离  $S$ ，使工件回转轴线与车床主轴线相交一个角度  $\alpha / 2$ 。工件就车成了一个圆锥体如图 8-10 所示。尾座向里还是向外偏移，取决于圆锥工件大小端在两顶尖间的加工位置。

### 1. 偏移尾座车圆锥体的特点

- (1) 适宜于加工锥度较小、精度不高，锥体较长的工件。
- (2) 可以用纵向机动进给车削，因此工件表面质量较好。
- (3) 不能车整锥体和圆锥孔。
- (4) 因受尾座偏移量的限制，不能加工锥度大的工件。
- (5) 因顶尖在中心孔中是歪斜的，接触不良，所以顶尖和中心孔磨损不均匀。

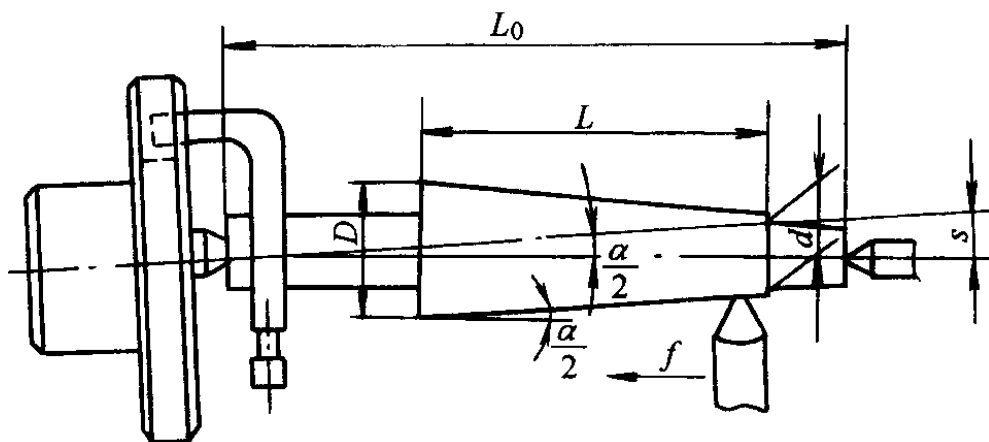


图 8-10 用偏移尾座法车外圆锥体

### 2. 偏移尾座车外圆锥面的方法

- (1) 尾座偏移量的计算尾座偏移量可用下列公式计算，即

$$S = L_0 \times \tan(\alpha/2) = L_0 \times (D-d)/2L \quad \text{或} \quad s = (C/2)L_0$$

式中  $s$ ——尾座偏移量(mm)；

$D$ ——大端直径(mm)；

$d$ ——小端直径(mm)；

$L$ ——圆锥长度(mm)；

$L_0$ ——工件全长(mm)；

$C$ ——锥度。

- (2) 偏移尾座的方法

1) 用尾座的刻度偏移尾座 偏移时，先松开尾座紧固螺母。然后用六角扳手转动尾座上层两侧螺钉 1、2(根据正、倒锥确定向里或向外偏移)，按尾座刻度把尾座上层移动一个  $S$  距离。然后拧紧尾座紧固螺母，如图 8-11 所示。这种方法比较方便，一般尾座上有刻度的车床都可以采用。

- 2) 用百分表偏移尾座 使用这种方法时，先将百分表固定在刀架上，使百分表

的测头与尾座套筒接触(百分表应位于通过尾座套筒轴线水平面内,且百分表测量杆垂直于套筒表面),然后偏移尾座。当百分表指针转动至一个S值时,把尾座固

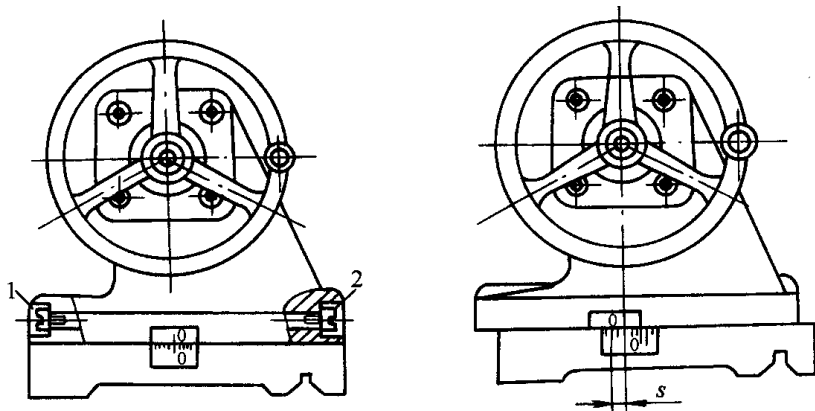


图 8-11 用尾座刻度偏移尾座的方法

定,如图 8-12 所示。利用百分表偏移尾座比较准确。

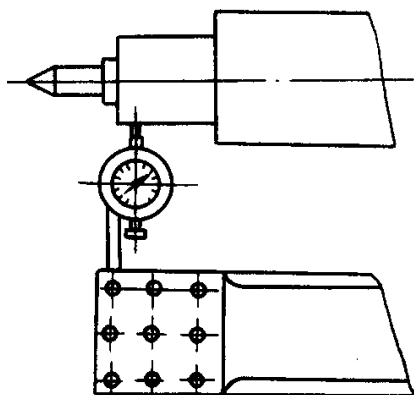


图 8-12 用百分表偏移尾座的方法

3)用锥度量棒或试件偏移尾座 先把锥度量棒或试件装夹在两顶尖之间,在刀架上装一百分表,使百分表测头与量棒或试件表面接触。百分表的测量杆要垂直量棒或试件表面,且测头位于通过量棒或试件轴线的水平面内。然后偏移尾座,纵向移动床鞍,使百分表在两端的读数一致后,固定尾座即可,如图 8-13 所示。使用这种方法偏移尾座,须选用的锥度量棒或试件总长应与所加工的总长相等,否则,加工出的锥度是不正确的。

无论采用哪种方法偏移尾座,都有一定的误差,必须通过试切,逐步修正,才能达到加工精度要求。

### (3) 工件装夹与车削

1)把两顶尖的距离调整到工件总长,套筒不要伸出太长以不影响加工为宜。

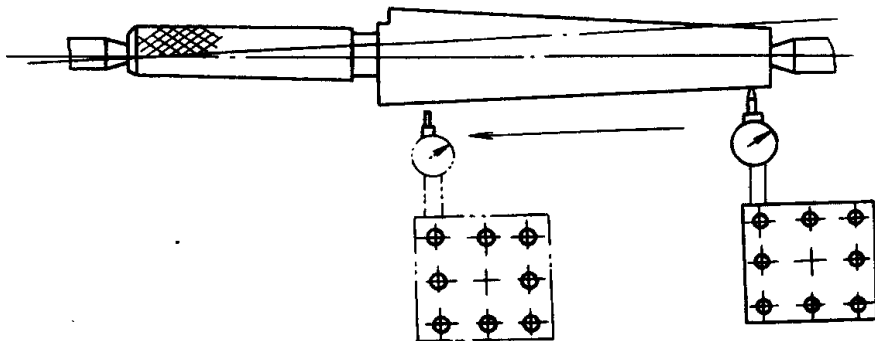


图 8-13 用锥度量棒偏移尾座

2) 两中心孔须加润滑脂(黄油)。

3) 工件在两顶尖间装夹, 其松紧程度, 以手不用力能拨动工件(只要没有轴向窜动)为宜。

4) 用自动进给粗车外圆并逐步找正圆锥面, 用着色法检查, 套规与工件接触面在 60% 以上。

5) 精车外圆锥面根据套规的公差界限中心与被测工件端面距离计算背吃刀量, 精车时应注意工件各部尺寸。

3. 看图和确定加工步骤(图 8-14)

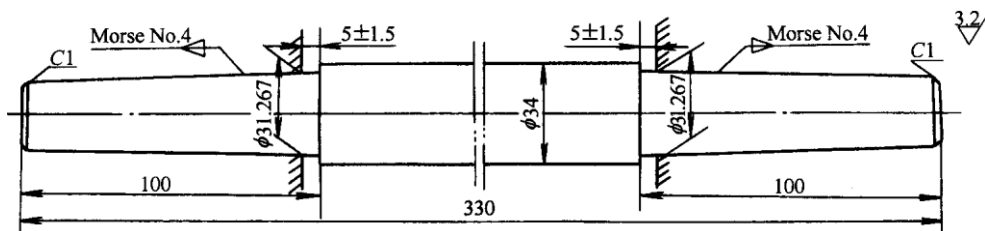


图 8-14 偏移尾座车 4 号莫氏圆锥 材料: 45 钢 件数: 1

加工步骤:

- (1) 夹工件外圆伸出 30mm, 车平面(车平即可)钻中心孔。
- (2) 调头, 车总长 330mm 钻中心孔。
- (3) 两顶尖间装夹工件, 车外圆  $\phi 34\text{mm}$  至尺寸要求。
- (4) 车一端外圆  $\phi 32\text{mm}$  长 100mm 至尺寸要求。
- (5) 根据尾座偏移量  $S$  向里偏移尾座, 粗、精车外圆锥面至尺寸要求, 倒角  $1 \times 45^\circ$ 。
- (6) 调头加工另一端锥面至尺寸要求(要求重新调整尾座)。

4. 容易产生的问题和注意事项

- (1) 车刀应对准工件中心, 以防锥面素线不直。
- (2) 粗车时, 进刀不宜过大, 应先找正锥度, 以防工件报废。
- (3) 随时注意两顶尖间松紧和前顶尖的磨损情况, 以防工件飞出伤人。
- (4) 套规检查时涂色应薄而均匀, 转动量一般在半圈之内, 多则容易造成误判。
- (5) 精加工锥面时, 背吃刀量和进给量都不能太大, 否则影响锥面加工质量。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                                   |
|--------|-------------------------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                                        |
| 课    题 | 转动小滑板车圆锥孔                                                         |
| 教    者 | 黄    曙                                                            |
| 教案序号   | 第    30  教案                                                       |
| 教学目的   | 1、了解转动小滑板车圆锥孔的方法<br>2、掌握切削用量的选择<br>3、掌握车配套圆锥面的方法<br>4、熟悉看图和确定加工步骤 |
| 重点难点   | 1、转动小滑板的方法<br>2、切削用量的选择<br>3、看图和确定加工步骤                            |
| 作    业 | 1、实训加工<br>2、                                                      |
| 复    习 |                                                                   |
| 导    入 |                                                                   |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生实车                                                    |

### (III) 转动小滑板车圆锥孔

车圆锥孔比车圆锥体困难，因为车削工作在孔内进行，不易观察，为了便于测量，装夹时应使锥孔大端直径的位置在外端。

#### 1. 转动小滑板车圆锥孔的方法

(1) 车刀装夹要求车刀刀尖要对准工件中心，刀柄伸出长度应保证工件切削行程的需要，刀柄与工件锥孔周围应留有一定退刀量。

(2) 转动小滑板的方法转动小滑板的方法与车外圆锥相同，但是方向相反，应顺时针方向转过工件圆锥半角  $\alpha / 2$ 。同时调整好小滑板镶条的松紧及行程距离。

#### (3) 粗车内圆锥面

1) 钻孔 钻孔时用小于锥孔小端直径 1~2mm 的麻花钻钻孔。

2) 粗车内圆锥面 其方法与车外圆锥面一样，车削至锥形塞规能塞进工件锥孔约 1/2 长度时，用涂色法检查锥孔角度，根据擦痕情况调整小滑板转动的角度，逐步调整将角度找正并留精车余量。

(4) 精车内圆锥面 精车内圆锥面控制尺寸的方法，与精车外圆锥面控制尺寸的方法相同，也可采用计算法见图 8-15 或移动床鞍法见图 8-16 确定  $a_p$  值。

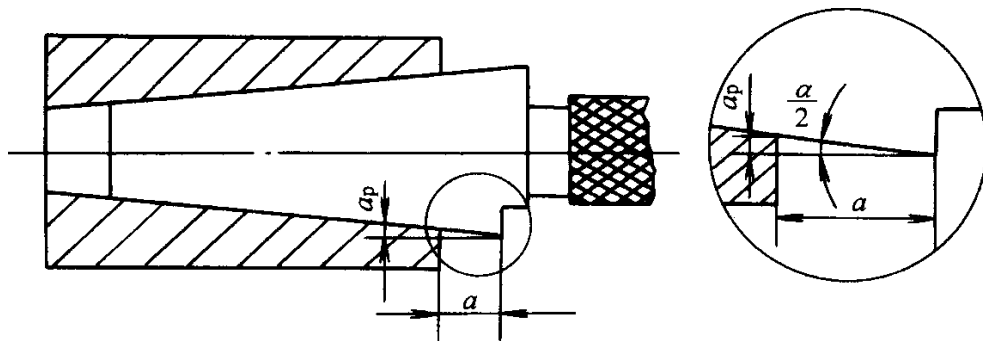


图 8-15 用计算法控制圆锥孔尺寸

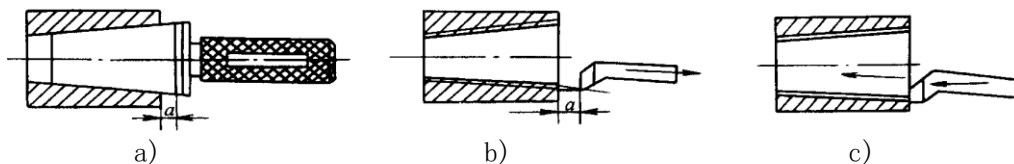


图 8-16 用移动床鞍法控制圆锥孔尺寸

#### 2. 切削用量的选择

(1) 切削速度比车外圆锥面时低 10%~20%。

(2) 手动进给要始终保持均匀，不能有停顿与快慢不均匀现象。最后一刀的背吃刀量  $a_p$  一般取 0.1~0.2mm 为宜。

(3) 精车钢件时，可以加切削液或润滑油，以减小表面粗糙度  $R_a$  值，提高表面质量。

3. 车配套圆锥面的方法 如果要加工配套圆锥表面，可先转动小滑板车好外圆锥面，然后不要变动小滑板角度，将内圆锥车刀反装，使切削刃向下，主轴仍正转，

便可以加工出与圆锥体相配合的圆锥孔，如图 8-17 所示。

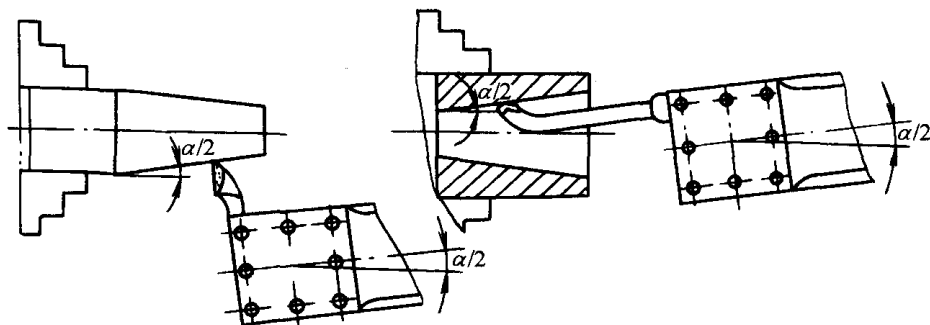
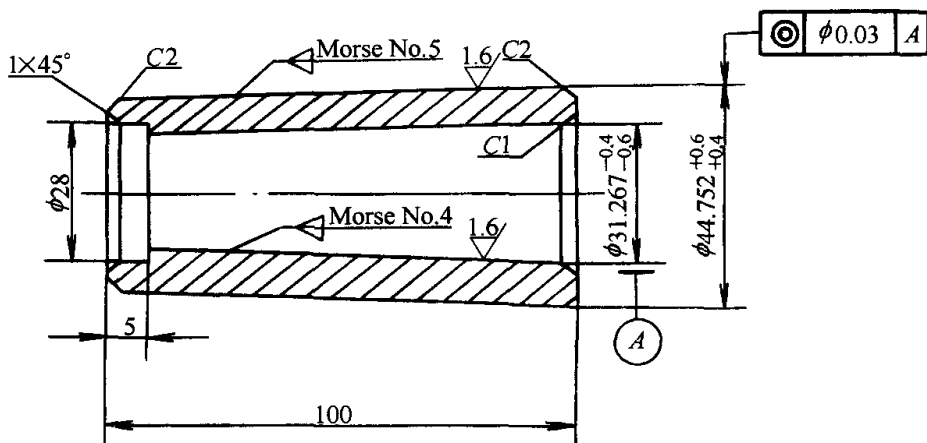


图 8—17 配套锥面的车削

#### 4. 看图和确定加工步骤(图 8-18)

其余  $\nabla 6.3$



材料: 45 件数: 1

图 8-18 车锥套

加工步骤:

(1) 用三爪自定心卡盘夹毛坯外圆长 30mm，车平面(车平即可)及外圆  $\phi 46\text{mm}$  长 60mm。

(2) 钻通孔  $\phi 25\text{mm}$ 。

(3) 车孔  $\phi 28\text{mm}$  长 5mm 至尺寸要求，倒角  $1 \times 45^\circ$ 。

(4) 调头夹住外圆  $\phi 46\text{mm}$  长 30mm，车平面，保证总长 100mm。车  $\phi 46\text{mm}$  外圆长 40mm 与已车外圆接刀。

(5) 小滑板顺时针转动  $1^\circ 29' 15''$ ，粗、精车莫氏 4 号锥孔至图样要求。孔口倒角  $1 \times 45^\circ$ 。用圆锥塞规涂色检查接触面  $> 60\%$ 。

(6) 工件装夹在预制好的两顶心轴上，用偏移尾座或转动小滑板法粗、精车莫氏 5 号外圆锥至尺寸要求。

(7) 倒角。

编写者: 黄曙

5. 容易产生的问题和注意事项

- (1) 车刀必须对准工件中心。
- (2) 粗车时背吃刀量不要过大，应先逐步找正工件锥度。
- (3) 用塞规涂色检查时，必须注意孔内清洁，转动量在半圈之内。
- (4) 取出锥形塞规时注意安全，不要敲击，以防工件移位。
- (5) 要以锥形塞规上的界限线来控制锥孔尺寸。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                           |
|--------|-------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                |
| 课    题 | 外圆的磨削及精密加工                                |
| 教    者 | 黄    曙                                    |
| 教案序号   | 第    31    教案                             |
| 教学目的   | 1、了解外圆的磨削方法<br>2、了解外圆的精密加工方法<br>3、        |
| 重点难点   | 1、外圆的磨削及砂轮的选择<br>2、研磨<br>3、超精加工<br>4、滚压加工 |
| 作    业 | 1、实训加工<br>2、                              |
| 复    习 |                                           |
| 导    入 |                                           |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生实磨                            |

### （四）外圆的磨削

磨削是精加工外圆表面的主要方法。磨削加工可以达到的公差等级为 IT8~IT6, Ra 为 0.8~0.1  $\mu\text{m}$ 。磨削一般可分粗磨、精磨、细磨、超精密磨削和镜面磨削。采用不同的方法,可获得相应的公差等级和表面粗糙度。当外圆表面的公差等级和质量要求不高时,粗磨或精磨就可作为轴类零件的最终加工工序。

磨削时影响磨削表面质量的主要工艺因素有:砂轮的特性、磨削用量、冷却、砂轮的修整、加工时的振动等。砂轮的特性包括磨料、磨粒、硬度、结合剂、组织及形状尺寸等。一般在砂轮端面上印有这六个方面的特性。

为了获得良好的磨削效果、选择砂轮必须注意以下几点:工件材料的物理、力学性能(强度、硬度、韧性、导热性);对磨削表面的精度和表面粗糙度的要求;工件的磨削余量;工件的形状和尺寸;磨削方式等。

### （五）外圆的精密加工

外圆表面的光整加工是用来提高尺寸精度和表面质量的加工方法。它包括研磨、超精加工、滚压和抛光加工。

#### 1. 研磨

研磨常在精车和粗磨后进行。研磨后的工件的直径尺寸误差为 0.001~0.003 mm,表面粗糙度值 Ra 为 0.1~0.006  $\mu\text{m}$ ,因而,往往又将研磨作为最终加工方法。但研磨不能提高工件表面间的同轴度等相互位置精度。

研具常用铸铁、铜、铝、软钢等比工件材料软些的材料制成。研磨时,部分磨粒嵌入研具表面层,部分磨粒悬浮于工件与研具之间,利用工件与研具之间的相对运动,磨粒就在工件表面切去很薄的一层金属,主要是上道工序的粗糙的凸峰。此外,研磨还有化学作用,研磨剂能使被加工表面形成氧化层,而氧化层易于被磨料除去,因而加速了研磨过程。研磨方法可分为手工研磨和机械研磨两种。

#### 2. 超精加工

超精加工是用细粒度的磨具对工件施加很小的压力,并作往复振动和慢速纵向进给运动,以实现微量磨削的一种光整加工方法。

#### 3. 滚压加工

滚压加工是用滚压工具对金属坯料或工件施加压力,使其产生塑性变形,从而将坯料成形或滚光工件表面的加工方法。塑性变形可使表面层金属晶体结构歪曲,晶粒度拉细长、紧密,晶界增多,故金属表面得以强化,也就是表层产生残余压应力和冷作硬化现象,使表面粗糙程度降低,强度和硬度有所提高,从而提高了耐磨性和疲劳强度,同时也提高了表面质量。

滚压加工适用于承受高压应力、交变载荷零件的加工,是一种无切屑的光整加工方法,它可以加工外圆表面、内孔和平面等不同表面,常在精车或粗磨后进行,是一种生产率比较高的加工方法。

滚压后工件的外圆表面公差等级为 IT8~IT7,表面粗糙度值 Ra 为 1.6~0.1  $\mu\text{m}$ ;内孔表面公差等级为 IT9~IT7,表面粗糙度值 Ra 为 1.6~0.1  $\mu\text{m}$ 。

#### 4. 抛光

## **沅江市职业中专机械加工技术教案**

抛光是利用机械化学或电化学的作用，使工件获得光亮、平整表面的加工方法。抛光材料可用氧化铬、氧化铁等，涂在弹性轮上，靠抛光膏的机械刮擦和化学作用去掉粗糙表面的轮廓高峰，使表面获得光洁镜面。抛光一般去不掉余量，所以不能提高工件的尺寸精度。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                  |
|--------|--------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                       |
| 课    题 | 轴类零件其他表面的加工方法                                    |
| 教    者 | 黄    曙                                           |
| 教案序号   | 第    32    教案                                    |
| 教学目的   | 1、了解花键加工方法<br>2、了解螺纹加工方法<br>3、                   |
| 重点难点   | 1、三面刃铣刀、键槽铣刀<br>2、螺纹的技术要求、螺纹的主要加工方法<br>3、车削螺纹的方法 |
| 作    业 | 1、实训加工<br>2、                                     |
| 复    习 |                                                  |
| 导    入 |                                                  |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生实操作                                  |

### 三、轴类零件其他表面的加工方法

#### (一) 花键加工

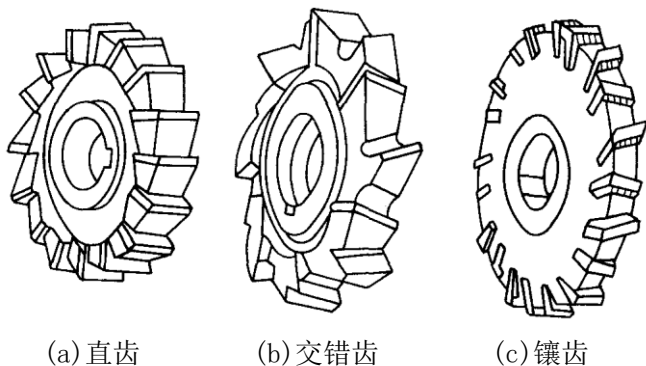
花键是轴类零件经常遇到的典型表面，它与单键相比，具有定心精度高，导向性能好，传递转矩大，易于互换等优点，因而得到广泛应用。

花键按齿形可分为矩形花键、三角形花键、渐开线花键、梯形花键等，其中矩形花键应用较多。矩形花键有三种定心方式：即外径定心、内径定心和齿侧定心。其中按外径定心的花键，由于加工工艺性能好(轴的外径可磨削，孔的内径可拉削)，生产中用得较多。

通常，轴上的矩形花键采用铣削和磨削加工；孔上的矩形花键采用拉削加工。

花键是一端或两端贯穿的浅沟槽，所以适于用三面刃铣刀和键槽铣刀加工。

(1) 三面刃铣刀 如图 8—19 所示，三面刃铣刀可分为直齿三面刃和交错齿三面刃。它主要用在卧式铣床上加工台阶和一端或两端贯穿的浅沟槽。三面刃铣刀除了圆周具有主切削刃外，两侧也有副切削刃，从而改善了切削条件，提高了切削效率，减小了表面粗糙度值。但它重磨后尺寸变化较大，镶齿三面刃铣刀可解决这个问题。



(a) 直齿

(b) 交错齿

(c) 镶齿

图 8—19 三面刃铣刀



图 8—20 键槽铣刀

(2) 键槽铣刀 如图 8—20 所示，键槽铣刀外形与立铣刀相似，由于周围只有两个螺旋刀齿，其端断面刀齿的刀刃延伸至中心，因此，加工两端不通的键槽时，可以作适当的轴向进给。

键槽铣刀主要适用于加工圆头封闭键槽，且要作多次垂直进给和纵向进给才能完成。

#### (二) 螺纹加工

##### 1. 螺纹的分类

螺纹零件是机器设备中应用较广泛的一种零件，按其用途可分为两大类：

(1) 紧固螺纹用于零件的固定连接。属于紧固螺纹的有普通螺纹、圆柱管螺纹和圆锥管螺纹。

(2) 传动螺纹用于传递运动和位移。属于传动螺纹的有梯形螺纹、矩形螺纹、锯齿形螺纹。机床中传递运动的丝杠，大多采用梯形螺纹，一般牙型角为  $30^\circ$ （米制，我国采用；英制为  $29^\circ$ ），但传动精度要求较高的丝杠，常采用牙型角为  $15^\circ$ 。

##### 2. 螺纹的技术要求

螺纹的工作条件、用途不同，对它的技术要求也有所不同。为了长时间保持传动螺纹的传动精度，就要对零件的材料、耐磨性等方面提出较高的要求。这些基本技术要求在 GB / T 3099—1982 中有详细规定。

### 3. 螺纹的主要加工方法

按螺纹的使用要求和生产批量可选用车螺纹、铣螺纹、攻螺纹、套螺纹、磨螺纹及滚压螺纹等不同的加工方法。

螺纹的各种加工方法都有其各自的特点，它们的适用范围、达到的精度和生产率都不相同，因此，选择合理的加工方法极为重要。表 6—5 中列出了螺纹的主要加工的经济精度，供选用时查阅。这里只介绍车削螺纹的方法。

### 4. 车削螺纹的方法

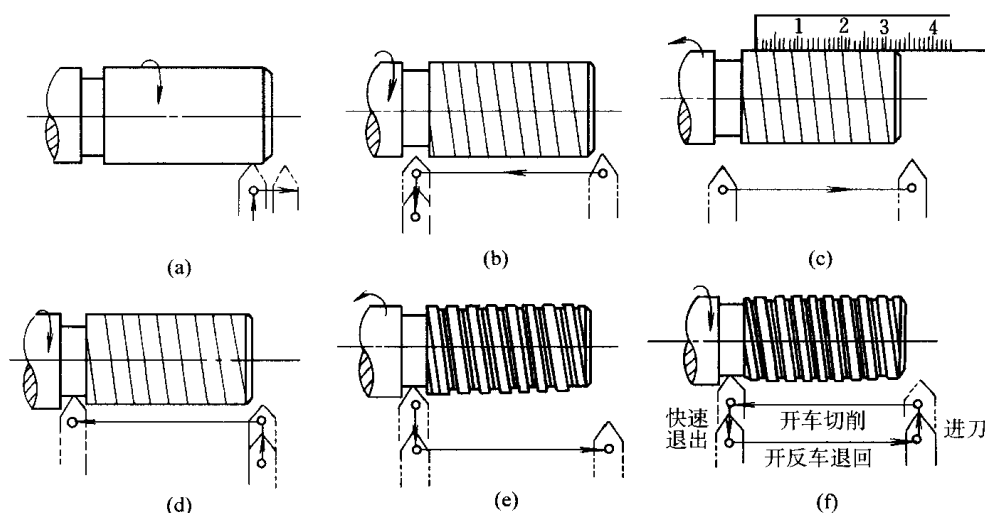


图 8—21 车削螺纹的方法

车削螺纹的方法如图 8—21 所示。图 8—21a 表示开始车削时，用车刀刀尖径向对刀并记下刻度盘读数，向右退出刀具。图 8—21b 表示合上开合螺母，在工件表面车出一条螺旋线后，横向退刀并停车。图 8—21c 表示反转使车刀退到工件右端停车，用钢直尺检查螺距是否正确。图 8—21d 表示利用刻度盘调整背吃刀量，继续车削。图 8—21e 表示车刀行程终了时，做好退刀停车的准备，先快速退出车刀，然后停车，开反车使车刀退回。图 8—21f 表示再次横向切入，继续车削，按图 8—21 所示切削路线，直至合格为止。

### 5. 螺纹加工方法的选择

螺纹加工方法可参考表 8—5 选择。

### 6. 加工螺纹的注意事项

(1) 车削螺纹时，若第二次车削的运动轨迹与第一次不重合，结果把螺纹车乱而报废，称为乱扣。为避免乱扣发生，在车削过程中和退刀时，一般不得脱开开合螺母。但当丝杠螺距与工件螺距之比为整数倍时，退刀时可以脱开开合螺母，再次切削时及时合上，就不会乱扣。

## 沅江市职业中专机械加工技术教案

表 8—5 各种方法加工螺纹的精度及适用范围

| 加 工 方 法     |      | 精度等级    | 表面粗糙度<br>值 Ra / $\mu\text{m}$ | 生产率 | 适 用 范 围                        |
|-------------|------|---------|-------------------------------|-----|--------------------------------|
| 车削螺纹        |      | IT6     | 1.6~0.8                       | 低   | 高精度，小批量；紧固和传动螺纹；各种未淬火的内、外螺纹    |
| 攻螺纹套螺纹（机、手） |      | IT7~IT6 | 1.6                           | 较高  | 直径较小的内、外螺纹；直径较小未淬硬的紧固螺纹        |
| 铣削螺纹        | 盘形铣刀 | IT7~IT6 | 1.6                           | 较高  | 大批生产；各种精度未淬硬螺纹；紧固和传动螺纹         |
|             | 梳形铣刀 | IT7~IT6 | 1.6                           | 高   | 大批生产；大、中直径的内、外螺纹               |
| 滚压螺纹        | 搓丝   | IT6     | 1.6~0.8                       | 最高  | 直径小于40 mm的外螺纹；大批生产；材料塑性好的螺纹；螺钉 |
|             | 滚丝   | IT6~IT5 | 0.8~0.2                       | 很高  |                                |
| 磨削螺纹        | 单线磨  | IT5~IT4 | 0.4~0.1                       | 一般  | 各种批量；淬硬螺纹；精度高，效率低              |
|             | 多线磨  | IT5     | 0.4~0.2                       | 高   | 各种批量；淬硬螺纹；精度低，效率高；螺距较小的短螺纹     |
| 研磨          |      | IT5~IT4 | 减至112~<br>1 / 4               | 低   | 精度较高、表面质量好的螺纹终加工，批量不限          |

(2) 工件与主轴及车刀的相对位置不可改变，确需改变时，必须重新对刀检查。

(3) 车削内螺纹时，车刀横向进退方向与车外螺纹时相反。如果螺纹公称直径较小，可以在车床上用丝锥攻螺纹。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                          |
|--------|------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                               |
| 课    题 | 轴类零件的加工示例                                |
| 教    者 | 黄    曙                                   |
| 教案序号   | 第    33    教案                            |
| 教学目的   | 1、了解轴类零件的加工全过程<br>2、掌握简单轴类零件的加工全过程<br>3、 |
| 重点难点   | 1、工艺正确<br>2、操作规范<br>3、注意安全               |
| 作    业 | 1、实训加工<br>2、                             |
| 复    习 |                                          |
| 导    入 |                                          |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生实车                           |

四、 轴类零件的加工示例

例 1 车削图 8—22 所示的阶梯轴,表 8—6 和表 8—7 为其不同生产类型的工艺过程。

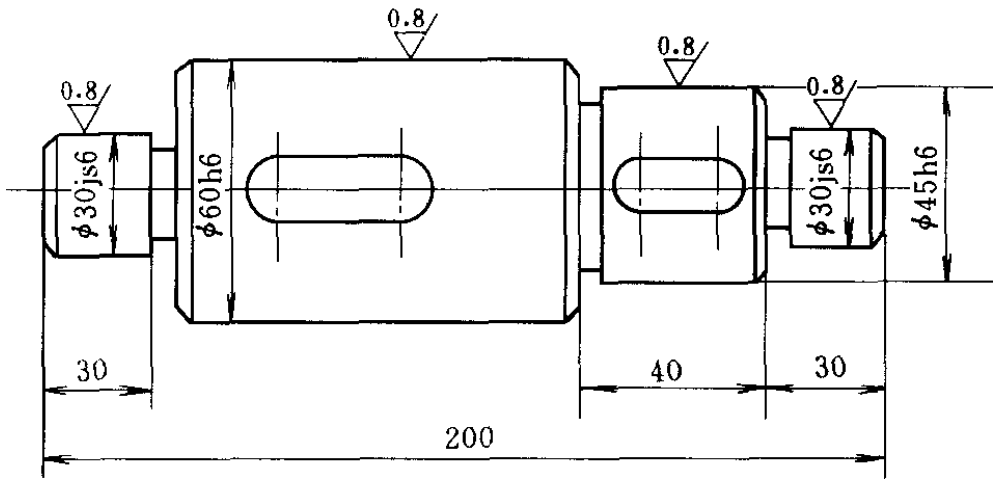


图 8—22 阶梯轴简图

表 8—6 阶梯轴的加工工艺过程(生产批量较小时)

| 工序号 | 工序内容          | 设 备       | 备 注         |
|-----|---------------|-----------|-------------|
| 1   | 两边同时铣端面, 钻中心孔 | 铣端面钻中心孔机床 | 确定基准        |
| 2   | 车外圆, 车槽和倒角    | 车床        | 确定几何形状      |
| 3   | 铣键槽, 去毛刺      | 铣床、钳工台    | 完成组件联结部分    |
| 4   | 粗磨外圆          | 磨床        | 定精度         |
| 5   | 热处理           | 高频淬火机     | 组织处理        |
| 6   | 精磨外圆          | 磨床        | 达到精度要求, 去应力 |

表 8—7 阶梯轴的加工工艺过程(生产批量较大时)

| 工序号 | 工序内容          | 设 备       | 备 注           |
|-----|---------------|-----------|---------------|
| 1   | 两边同时铣端面, 钻中心孔 | 铣端面钻中心孔机床 | 确定基准(定位)      |
| 2   | 车外圆, 车槽和倒角    | 车床        | 完成几何形状、去应力    |
| 3   | 车另一端外圆, 车槽和倒角 | 车床        | 完成几何形状、去应力    |
| 4   | 铣键槽           | 铣床        | 联结部分          |
| 5   | 去毛刺           | 钳工台       |               |
| 6   | 粗磨外圆          | 磨床        | 提高尺寸精度        |
| 7   | 热处理           | 高频淬火机     | 组织处理, 实现性能    |
| 8   | 精磨外圆          | 磨床        | 达到精度要求, 消除热应力 |

例 2 车削零件图 8—23 所示的阶梯轴，表 8—8 为其基本工艺过程

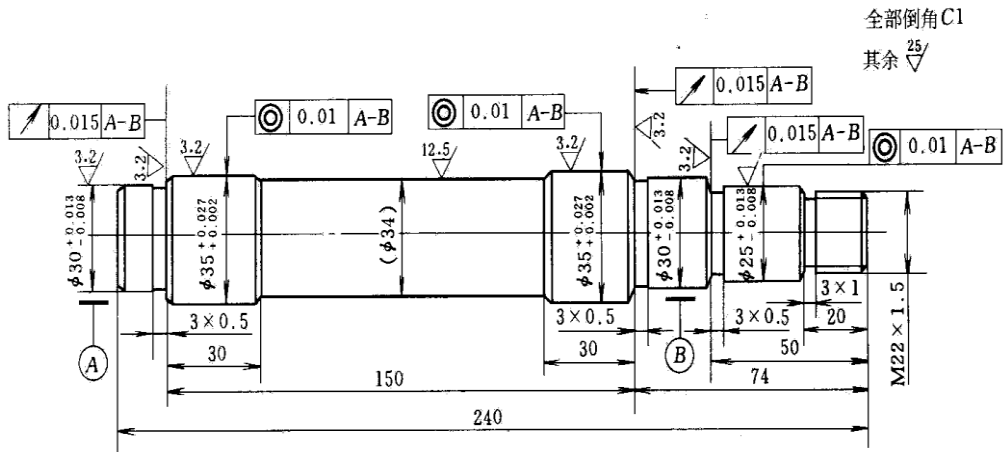


图 8-23 轴的零件图

表 8—8 轴的车削工艺过程

| 工序号 | 加工简图 | 加工内容                                                                                                                                                         | 装夹方法       |
|-----|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1   |      | 下料 $\phi 40 \times 243$ , 5 件                                                                                                                                |            |
| 2   |      | 车端面见平, 钻 $\phi 2.5$ 中心孔                                                                                                                                      | 三爪自定心卡盘    |
| 3   |      | 调头, 车端面, 保证总长 240 mm; 粗车外圆 $\phi 32 \times 15$ , 钻 $\phi 2.5$ 中心孔                                                                                            | 三爪自定心卡盘    |
| 4   |      | 粗车各台阶, 车 $\phi 36$ 外圆全长; 车外圆 $\phi 31 \times 74$ ; 车外圆 $\phi 26 \times 50$ ; 车外圆 $\phi 23 \times 20$ ; 车槽 3 个; $\phi 34$ 至尺寸                                 | 顶尖卡箍       |
| 5   |      | 调头精车, 车槽 1 个; 光小端面保证尺寸 150 mm; 车 $\phi 30^{+0.013}_{-0.008}$ 至尺寸; 车两外圆 $\phi 35^{+0.027}_{-0.002}$ 至尺寸; 倒角 C1 两个                                             | 顶尖卡箍       |
| 6   |      | 调头精车, 车外圆 $\phi 30^{+0.013}_{-0.008}$ 至尺寸; 车外圆 $\phi 25^{+0.013}_{-0.008}$ 至尺寸; 车螺纹外圆 $\phi 22^{+0.1}_{-0.1}$ 至尺寸; 修光台肩小端面; 倒角 C1, 4 个; 车螺纹 M22 $\times 1.5$ | 顶尖卡箍 (垫铁皮) |
| 7   |      | 检验                                                                                                                                                           |            |

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                           |
|--------|-----------------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                                |
| 课    题 | 了解套筒类零件                                                   |
| 教    者 | 黄    曙                                                    |
| 教案序号   | 第  34  教案                                                 |
| 教学目的   | 1、了解套筒类零件的结构特点和功用<br>2、了解套筒类零件的技术要求<br>3、熟悉保证套筒类零件加工质量的措施 |
| 重点难点   | 1、套筒类零件的结构特点和功用<br>2、套筒类零件的技术要求<br>3、加工保证相互位置精度           |
| 作    业 | 1、P242.4<br>2、                                            |
| 复    习 |                                                           |
| 导    入 |                                                           |
| 后    记 |                                                           |

## 第二节 套筒类零件加工

### 一、了解套筒类零件

#### (一) 套筒类零件的结构特点和功用

结构特点：零件的主要表面为同轴度要求较高的内、外回转表面；壁厚较薄易变形；长度一般大于直径。功用：主要是支承和导向。

#### (二) 套筒类零件的技术要求

##### 1. 内孔的技术要求

(1) 尺寸精度 内孔是套筒类零件起支承或导向作用的主要表面，它通常与运动着的轴、刀具或活塞相配合，其尺寸精度一般为 IT7。

(2) 形状精度 内孔的形状精度一般控制在孔径公差以内。对于长的套筒类零件除了圆度要求外，还应注意孔的圆柱度。

(3) 位置精度 内外圆之间的同轴度一般为  $0.01 \sim 0.05 \text{ mm}$ ；孔轴线与端面的垂直度一般取  $0.02 \sim 0.05 \text{ mm}$ 。

(4) 表面质量 一般要求内孔的表面粗糙度值  $R_a$  为  $3.2 \sim 0.8 \mu\text{m}$ ；要求高的孔  $R_a$  值达  $0.05 \mu\text{m}$  以上；若与油缸相配合的活塞上装有密封圈时，其内孔表面粗糙度值  $R_a$  为  $0.4 \sim 0.2 \mu\text{m}$ 。

##### 2. 外圆的技术要求

外圆表面一般是套筒类零件的支承表面，常以过盈配合或过渡配合与箱体或机架上的孔相连接，其技术要求为：

(1) 尺寸精度通常为 IT7~IT6；

(2) 形状精度控制在外径公差以内；

(3) 表面粗糙度值  $R_a$  为  $6.3 \sim 0.8 \mu\text{m}$ 。

#### (三) 保证套筒类零件加工质量的措施

套筒零件由于结构、尺寸、技术要求和生产规模的不同，其机械加工方法也不一样。套筒类零件主要的加工表面是孔、外圆和端面，加工时的定位基准为外圆表面或孔。套筒类零件机械加工中的主要工艺问题是保证相互位置精度和防止变形。

##### 1. 保证相互位置精度

(1) 减少安装误差在一次安装中加工套筒的内、外表面和端面，以消除安装误差对精度的影响，保证相对高的位置精度。

(2) 采用高精度夹具或卡盘以外圆为定位基准时，工件加工分几次安装进行，先加工外圆表面，然后以外圆表面为定位基准加工孔。

(3) 以孔为定位基准 工件加工分几次安装进行，先加工孔，然后以孔为定位基准加工外圆表面。

##### 2. 防止变形

(1) 减少夹紧力对变形的影响。夹紧力不应集中于工件的某一径向截面，宜使其分布在较大的面积上，以使工件单位面积上所受的压力较小，从而减小其变形。

(2) 减少切削力对变形的影响。减小径向切削力，通常靠增大刀具主偏角来达到。

使内外圆表面同时加工，使切削力抵消。

(3)减少热变形引起的误差。尽量保证工件在精加工时，有沿轴向或径向延伸的可能。因为工件在加工的过程中受切削热而膨胀，将造成误差。所以在粗、精加工之间必须有充分的时间冷却，加工时使用冷却液，也可收到良好的效果。

(4)考虑热处理变形。除了改进热处理工艺外，在安排工序时，应将热处理工序安排在粗加工之后进行，并留有足够的余量，使热处理造成的变形在以后的工序中得到纠正。

(5)粗、精加工分开进行，使粗加工的变形能在精加工得以纠正。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                           |
|--------|-------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                |
| 课    题 | 孔的一般加工方法                                  |
| 教    者 | 黄    曙                                    |
| 教案序号   | 第    35    教案                             |
| 教学目的   | 1、了解常用孔的类型<br>2、掌握孔的一般加工方法<br>3、          |
| 重点难点   | 1、配合用孔、深孔<br>2、钻孔<br>3、铰孔<br>4、镗孔<br>5、拉孔 |
| 作    业 | 1、钻孔产生偏移的原因有哪些？如何防止？<br>2、简述拉削的工艺特点。      |
| 复    习 |                                           |
| 导    入 |                                           |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生实操作                           |

## 二、孔的加工方法

### (一)孔的一般加工

机械零件中,除外圆表面外,较多的便是内孔表面。它是盘套、支架、箱体类零件的主要组成表面之一,本章着重介绍孔的加工。常见内孔表面有以下几种:

(1)配合用孔 配合用孔是指装配中有配合要求的孔。如与轴有配合要求的套筒孔、齿轮或带轮上的孔、车床尾座体孔、主轴箱体上的主轴和传动轴的轴承孔等都是配合用孔,其中箱体上的孔往往构成孔系,且加工精度要求较高。

(2)非配合用孔 非配合用孔是指装配中无配合要求的孔。如紧固螺栓用孔、油孔、内螺纹底孔、齿轮或带轮轮辐孔等都是非配合用孔,其加工精度要求不高。

(3)深孔 深径比  $L/D > 5$  的孔称为深孔,如车床主轴上的轴向通孔。由于深孔加工难度大,对刀具和机床均有特殊要求。

(4)圆锥孔 圆锥孔如车床主轴前端的锥孔、钻床刀杆的锥孔等,通常圆锥孔有较高的加工精度和表面质量要求。

套类零件的内孔是主要加工表面。与外圆表面相比,孔的加工难度较大,所使用刀具的直径、长度和安装等都受到被加工孔尺寸的限制,因此,加工同样等级的内孔和外圆时,则孔加工往往需要较多的工序,同时加工过程产生废品的可能性也较大。下面介绍常用孔的加工方法:

#### 1. 钻孔

钻孔是用钻头在实体材料上加工孔的方法。通常采用麻花钻钻孔,但由于钻头的强度和刚性较差,排屑较困难,切削液不易进入,因此,加工孔的精度和表面质量比较低,一般公差等级为 IT13~IT11,表面粗糙度值  $R_a$  为  $50 \sim 12.5 \mu m$ 。

在单件小批量生产中,小型工件的孔径  $D < 13mm$  时,一般在台式钻床上加工;中小型工件孔径  $D < 50mm$  时,常用立式钻床加工。中小型工件孔径  $D < 80mm$  时,一般在摇臂钻床上加工。

在钻孔时钻头往往容易产生偏移,其主要原因是:切削刃的刃磨角度不对称;钻削时工件端面与钻头没有定好位;工件端面与机床主轴轴线不垂直等。为了防止和减少钻孔时钻头产生偏移,常采用下列工艺措施:

(1)钻孔前先加工端面,保证端面与钻头中心线垂直。

(2)先用中心钻在端面上预钻一个凹坑,以引导钻头钻削。

(3)刃磨钻头时,使两个主切削刃对称。

(4)钻小孔或深孔时,应选用较小的进给量,以减小钻削的轴向力,使钻头不易产生弯曲变形而引起偏移。

(5)采用工件旋转的钻削方式。

(6)采用钻套引导钻头。

#### 2. 扩孔

扩孔是用扩孔钻对已加工孔进行孔径扩大的加工方法。扩孔钻与麻花钻相比,由于没有横刃,工作平稳,容屑槽小,刀体刚性好,工作中导向性好,故对孔的误差有一定的校正能力。扩孔通常作为铰孔前的预加工,也可作为孔的最终加工,一

般能达到的公差等级为 IT10~IT9, 表面粗糙度值  $R_a$  为  $6.3 \sim 3.2 \mu m$ 。

扩孔余量一般为孔径的  $1/8$  左右。使用高速钢扩孔钻加工钢料时, 切削速度可选为  $15 \sim 40 m/min$ , 进给量可选为  $0.4 \sim 2 mm/r$ , 故扩孔生产率比较高。当孔径大于  $100 mm$  时, 切削力矩大, 故很少应用扩孔, 而采用镗孔。

### 3. 铰孔

铰孔是对未淬火半精加工的孔进行精加工的一种方法。铰孔时, 因切削速度低, 加工余量小, 使用的铰刀刀齿多、结构特殊(有切削和校整部分)、刚性好、精度高等因素, 故铰孔后的质量比较高。铰孔能达到孔径尺寸公差等级一般为 IT11~IT7, 手铰可达 IT6, 表面粗糙度值  $R_a$  为  $1.6 \sim 0.4 \mu m$ 。

铰孔主要用于加工中小尺寸的孔, 孔径一般限制在  $80mm$  范围内。铰孔时以本身孔作导向, 故不能纠正位置误差, 因此, 孔的有关位置精度应由铰孔前的预加工工序保证。

为了保证铰孔时的加工质量, 应注意以下几点:

(1) 合理选择铰孔时的加工余量和切削规范 铰孔的加工余量视孔径、材料及公差等级要求等而异。对孔径为  $5 \sim 80 mm$ , 公差等级为 IT10~IT7 的孔, 一般分粗铰和精铰。加工余量太小时, 往往不能全部切除上道工序的加工痕迹, 同时由于刀齿不能连续切削而以很大的压力沿孔壁打滑, 使孔壁的质量下降。加工余量太大时, 则会因切削力大, 发热多引起铰刀直径增大及颤动, 致使孔径扩大。加工余量的选择可参见表 8—9。

表 8—9 铰孔前孔径及加工余量       $mm$

| 加工余量 | 孔 径   |        |        |        |
|------|-------|--------|--------|--------|
|      | 12~18 | >18~30 | >30~50 | >50~80 |
| 粗铰   | 0.1   | 0.14   | 0.18   | 0.2    |
| 精铰   | 0.05  | 0.06   | 0.07   | 0.1    |
| 总余量  | 0.15  | 0.20   | 0.25   | 0.3    |

合理选用切削速度可以减少积屑瘤的产生, 防止表面质量下降。铰削铸铁时可选为  $8 \sim 10 m/min$ ; 铰削钢时的切削速度要比铸铁时低, 粗铰为  $4 \sim 10 m/min$ , 精铰为  $1.5 \sim 5 m/min$ 。

铰孔的进给量也不能太小, 因进给量过小会使切屑太薄, 致使切削刃不易切入金属层而打滑, 甚至产生啃刮现象, 破坏了表面质量, 还会引起铰刀振动, 使孔径增大。

(2) 合理使用铰刀 铰削时切削刃应保持锋利和光洁, 切削刃上应没有缺口、裂纹和残留切屑及毛刺等。铰刀的中心线与被加工孔的中心线要一致, 以防止孔径扩大或“喇叭口”现象。一般采用浮动夹头来装夹刀具。

(3) 正确选择切削液 铰削时切削液对表面质量有很大影响, 铰削钢材时必须使用切削液, 一般常选用乳化液。对铸铁零件一般不加切削液, 如要进一步提高表面质量, 也可选用煤油作切削液。

手铰往往比机铰质量高，其主要原因是：切削速度低，切削温度不高，不易产生积屑瘤，切削时无振动，刀具中心位置完全由孔自身来引导等。因此，孔加工质量要求很高时多在机铰后再进行手铰。

4. 镗孔

镗孔是最常用的孔加工方法之一，可以作为粗加工，也可以作为精加工，并且加工范围很广，可以加工各种不同类型零件上的孔。镗孔一般在镗床上进行，但也可以在车床、铣床和数控机床、加工中心机床上进行。一般镗孔能达到的公差等级为 IT10~IT6，表面粗糙度值 R 为 1.6~0.2  $\mu\text{m}$ 。

由于镗孔时刀具(镗杆和镗刀)尺寸受到被加工孔径的限制，因此，一般刚性较差，容易引起弯曲和扭转振动，特别是镗小直径离支承较远的孔，振动情况更为严重，会影响孔径的精度。与扩孔和铰孔相比，镗孔的生产率比较低，但在单件小批生产中是较经济的，主要由于刀具成本低，而且镗孔能保证孔中心线的准确位置，并能修正毛坯或上道工序加工后所造成的孔的轴线歪曲和偏斜。对于直径很大(>100 mm)的孔和大型零件的孔，镗孔是唯一的加工方法。

5. 拉孔

拉孔是指在拉床上用拉刀进行拉削加工的方法。拉削加工的形状，如图 8—24 所示。

(1) 拉刀 花键拉刀的结构与圆孔拉刀基本相同，其区别在齿形部分。图 8—25 所示为圆孔拉刀的组成，其各部分作用如下：

- ①头部 供拉床夹持，传递动力。
- ②颈部 连接头部与其他部分，亦在此处打标记(刀具材料、尺寸规格等)。
- ③过渡锥 使拉刀易于进入待加工表面并起定心作用。
- ④前导部 起导向和定心作用，防止拉刀进入工件后发生歪斜，并可检查拉刀前的孔径是否过小，以免拉刀第一个刀齿负荷太大而损坏。
- ⑤切削部 担负着全部切削工作。由粗切齿、过渡齿和精切齿三个部分组成。这些刀齿的直径由前导部向后逐渐增大，

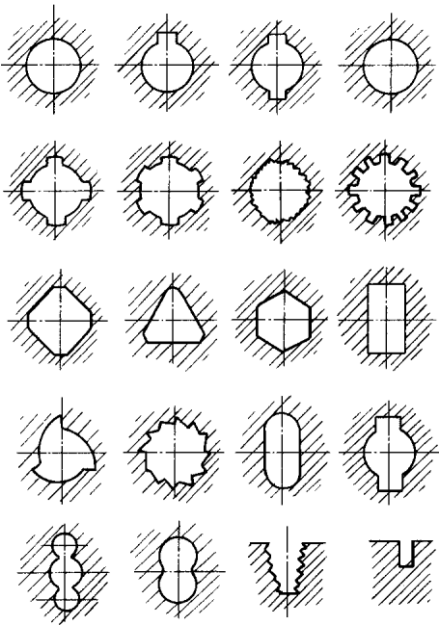


图 8—24 拉削加工形状

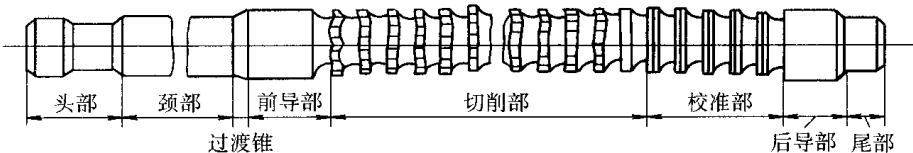


图 8—25 圆孔拉刀

编写者：黄曙

最后一个精切齿的直径应保持被拉削孔获得所要求的尺寸。

⑥校准部 有几个校准齿，其直径与拉削后的孔径相同，只起校准和修光作用，以提高加工精度，减小表面粗糙度值。

⑦后导部 保持刀具最后的正确位置，防止拉刀离开工件时损坏已加工表面或刀齿。

⑧尾部 用于支承较长的拉刀。

(2)拉削过程 拉削加工只有一个主运动，即拉刀在拉床液压力作用下以一定的切削速度作直线运动。进给运动由拉刀本身的结构实现，即拉刀后一刀齿比前一刀齿高出一个齿升量 ( $0.02\sim0.1\text{mm}$ )，每一刀齿依次切去一层厚度为齿升量金属层，总的背吃刀量在一次行程中被全部切除。

(3)拉削的工艺特点

①生产率高 拉削属多刀切削，一次行程能完成粗、精加工。

②加工质量好 拉削切削速度低 ( $v<0.3\text{ m/s}$ )，( $a_p<1.0\text{ mm}$ )，每齿切削厚度即齿升量更小(拉削钢时  $a_f=0.02\sim0.04\text{ mm}$ )，且拉床一般采用液压传动，加工过程平稳。加工质量较好，精度可达 IT8~IT6，表面粗糙度值  $R_a$  为  $0.8\sim0.1\text{ }\mu\text{m}$ 。

③批量生产时使用成本低 拉削成本一般为车削的  $1/4\sim1/40$ ，为铣削的  $1/80\sim1/300$ ，钻削的  $1/60\sim1/450$ 。

④机床结构及操作简单 只有一个主运动，结构简单，操作方便。

⑤刀具成本高 拉刀是一种复杂的成形刀具，其设计、制造、刃磨成本很高。

拉孔大多是在拉床上用拉刀对已有的孔进行半精加工或精加工。拉削过程只有主运动，没有进给运动。在拉削时，由于切削刀齿的齿高逐渐增大，因此每个刀齿切下一层较薄的切屑，最后由几个刀齿对孔进行校准。拉刀切削时同时参加切削的刀齿多，孔径能在一次拉削中完成。因此，它是一种高效率的加工方法。

拉削孔径的范围一般为  $10\sim100\text{ mm}$ ，拉孔深度一般不宜超过孔径的  $3\sim4$  倍。拉刀能拉削各种形状的孔，如圆孔、多边形孔等。

由于拉削速度低(一般为  $2\sim8\text{ m/min}$ )，因此，不易产生切屑积瘤，拉削过程平稳，切削层厚度很薄，故一般能达到的公差等级为 IT8~IT7，表面粗糙度值  $R_a$  为  $1.6\sim0.4\text{ }\mu\text{m}$ 。内孔经过拉刀校准部分校准后，甚至可达公差等级为 IT6，表面粗糙度值  $R_a$  为  $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 。当表面质量要求较高时，拉削速度宜采用  $3\text{ m/min}$  以下。在加工硬度较高 ( $280\sim320\text{HBS}$ ) 或较低 ( $143\sim170\text{HBS}$ ) 的钢料时，应选用较低的速度；加工中等硬度的材料时，速度可较高。加工有色金属时，速度也宜选用高些。

拉削过程与铰孔相似，都是以预加工孔本身定位，它不能纠正孔的位置偏差。拉孔时，由于切削力的作用，工件端面被紧压在机床端面的支承盘上，因此，要求预加工孔的轴心线必须与其端面垂直，否则会引起拉刀弯曲和振动。若不能保证工件端面与预加工孔的垂直度，则可采用球面支承来补偿。

正确选用切削液，对降低拉削力，提高工件表面质量和拉刀寿命有一定作用。在加工钢件时，一般选用乳化液或硫化油。前者有利于细化工件表面粗糙度；后者有利于提高拉刀寿命。

## 6. 磨孔

内圆磨削原理与外圆磨削原理一样，但内圆磨削的工作条件比外圆磨削差。内圆磨削有如下特点：

(1) 生产率低，磨孔用的砂轮直径受到工件孔径的限制，约为孔径的 0.5~0.9 倍，砂轮直径小则磨耗快，因此需要及时修正和更换，增加了辅助时间。

(2) 由于砂轮直径小，磨削时要达到砂轮圆周速度为 25~30 m/s 是很困难的。因此，磨削速度比外圆磨削低得多，孔的表面质量较低。近年来已制成有 100 000 r/min 的风动磨头，可方便地磨削 1~2 mm 的孔。

(3) 砂轮轴的直径受到孔径的限制，又是悬臂安装，如图 8—26 所示，容易弯曲和变形，从而影响加工精度和表面质量。

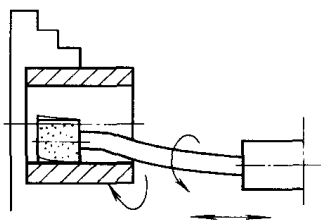


图 8—26 内圆磨削砂轮轴的偏移

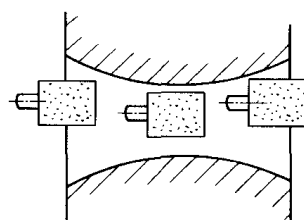


图 8-27 磨孔时“喇叭口”

(4) 砂轮与孔的接触面积大，单位面积压力小，磨粒不易脱落，工件易发生烧伤，所以应选择较软的砂轮。

(5) 切削液不易进入磨削区，排屑较困难，磨屑易积集在磨粒间的空隙中，容易堵塞砂轮，影响砂轮的切削性能。

(6) 在磨削时，砂轮与孔的接触长度经常改变。当砂轮有一部分超出孔外时，其接触长度较短，切削力较小，砂轮主轴所产生的压移量比磨削孔的中部时为小，此时，被磨去的金属层较多，从而形成如图 8—27 所示的“喇叭口”。为了减少或消除其误差，加工时应控制砂轮超出孔外的长度不大于  $(1/2 \sim 1/3)$  砂轮宽度。一般内圆磨削能达到的公差等级为 IT7，表面粗糙度值  $R_a$  为 0.4~0.2  $\mu\text{m}$ 。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                        |
|--------|----------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                             |
| 课    题 | 孔的精密加工                                 |
| 教    者 | 黄    曙                                 |
| 教案序号   | 第    36    教案                          |
| 教学目的   | 1、了解孔的珩磨加工<br>2、了解孔的研磨加工<br>3、了解孔的滚压加工 |
| 重点难点   | 1、孔的珩磨加工<br>2、孔的滚压加工<br>3、             |
| 作    业 | 1、观看操作视频<br>2、                         |
| 复    习 |                                        |
| 导    入 |                                        |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生观看操作视频                     |



度和使用寿命。

滚压可在普通机床上利用滚压装置进行，不需要专用设备，所以生产应用较多，如活塞销孔的精加工，油缸孔及曲轴颈过渡圆弧的精加工等。

内孔经滚压后，精度在 0.01 mm 以内，表面粗糙度值  $R_a$  为 0.16  $\mu\text{m}$  或更小，且表面硬化耐磨。滚压头的径向尺寸应根据孔的滚压过盈量确定，一般钢材的滚压过盈量为 0.10~0.12mm，滚压后孔径增大 0.02~0.03 mm。

滚压时滚压速度  $v = 60 \sim 80 \text{ m/min}$ ，进给量  $f=0.25 \sim 0.35 \text{ mm/r}$ 。切削液采用 50%硫化油加 50%柴油或煤油。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                                     |
|--------|---------------------------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                                          |
| 课    题 | 深孔的加工                                                               |
| 教    者 | 黄    曙                                                              |
| 教案序号   | 第    37    教案                                                       |
| 教学目的   | 1、了解深孔加工的工艺特点<br>2、掌握深孔的钻削方式<br>3、了解深孔加工的冷却和排屑方式<br>4、了解深孔加工的刀具结构特点 |
| 重点难点   | 1、深孔加工的工艺特点<br>2、深孔的钻削方式<br>3、深孔加工的刀具结构特点                           |
| 作    业 | 1、P242.6<br>2、                                                      |
| 复    习 |                                                                     |
| 导    入 |                                                                     |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生实操作。                                                    |

### (三)深孔的加工

#### 1. 深孔加工的工艺特点

通常把孔的深度与直径之比( $L/D > 5$ )的孔称为深孔。深径比不大的孔,可用麻花钻在普通钻床、车床上加工;深径比大的孔,必须采用特殊的刀具、设备及加工方法。深孔加工比一般的孔加工要复杂和困难得多。深孔加工的工艺主要有以下特点:

(1)深孔加工的刀杆细长,强度和刚性比较差,在加工时容易引偏和振动,因此,在刀头上设置支承导向极为重要。

(2)切屑排除困难。如果切屑堵塞,则会引起刀具崩刃,甚至折断,因此需采取强制排屑措施。

(3)刀具冷却散热条件差,切削液不易注入切削区,使刀具温度升高,刀具寿命降低,因此,必须采用有效的降温方法。

#### 2. 深孔的钻削方式

在单件小批生产中,深孔钻削常在卧式车床或转塔车床上用接长的麻花钻加工。有时工件作两次安装,从两端钻成。钻削时钻头须多次退出,以排除切屑和冷却刀具。采用这种切削方式,劳动强度大且生产率低。在大批生产中,普遍用深孔钻床和使用深孔钻头进行加工。

深孔加工一般采用工件旋转、钻头轴向进送,或钻头与工件同时反向旋转、钻头轴向进送方式进行。这两种方式都不易使深孔的轴线偏斜,尤其后者更为有利,但设备比较复杂。

若工件很大,旋转有困难,则可将工件固定,使钻头旋转并轴向进送。当旋转轴线与工件轴线有偏斜,则加工后的轴线也将有偏斜。

#### 3. 冷却和排屑方式

(1)内排屑方式 高压切削液由钻杆与工件孔壁间的空隙处压入切削区,然后带着切屑从钻杆中的内孔排出。这样不会划伤已加工的孔壁,而且钻杆直径可增大,也同时增强了钻杆的扭转刚性和弯曲刚性,因此可提高进给量,且孔轴线偏移量也较小,一般为 $0.1 \sim 0.3 \text{ mm/m}$ 。

采用深孔钻头需配备油压头,深孔钻头装在油压头机构内。油压头的前端与工件贴合,工件由主轴带动旋转。足够流量的高压油从油压头中的油管注入,通过钻杆和工件壁间的空隙处压入切削区,起冷却作用,再从钻杆内孔中带着大量切屑排出。压力和流量过小时,不易使切屑排出,使温度升高,刀具易磨损。

(2)外排屑方式切削液的流向正好与内排屑方式相反。

#### 4. 刀具结构特点

(1)刀具的导向性能要好,防止加工中引偏。

(2)为了有利于排屑,必须能使切屑成碎裂状或粉状屑,而不是呈带状。

(3)刀具上必须有进出油孔或通道,供流通切削液并排除切屑。

(4)刀具必须有良好的切削性能,并且在连续切削的条件下,具有较高的耐磨性和红硬性。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                              |
|--------|----------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                   |
| 课    题 | 套筒形零件机械加工工艺过程示例                              |
| 教    者 | 黄    曙                                       |
| 教案序号   | 第  38  教案                                    |
| 教学目的   | 1、熟悉套筒形零件机械加工工艺过程<br>2、掌握简单套筒形零件机械加工工艺<br>3、 |
| 重点难点   | 1、工艺正确<br>2、操作规范<br>3、注意安全                   |
| 作    业 | 1、实训加工<br>2、                                 |
| 复    习 |                                              |
| 导    入 |                                              |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生实操。                              |

三、 套筒形零件机械加工工艺过程示例

例 图 8—29 所示为薄壁长筒工件多用磨床油缸筒，试制定其机械加工工艺。

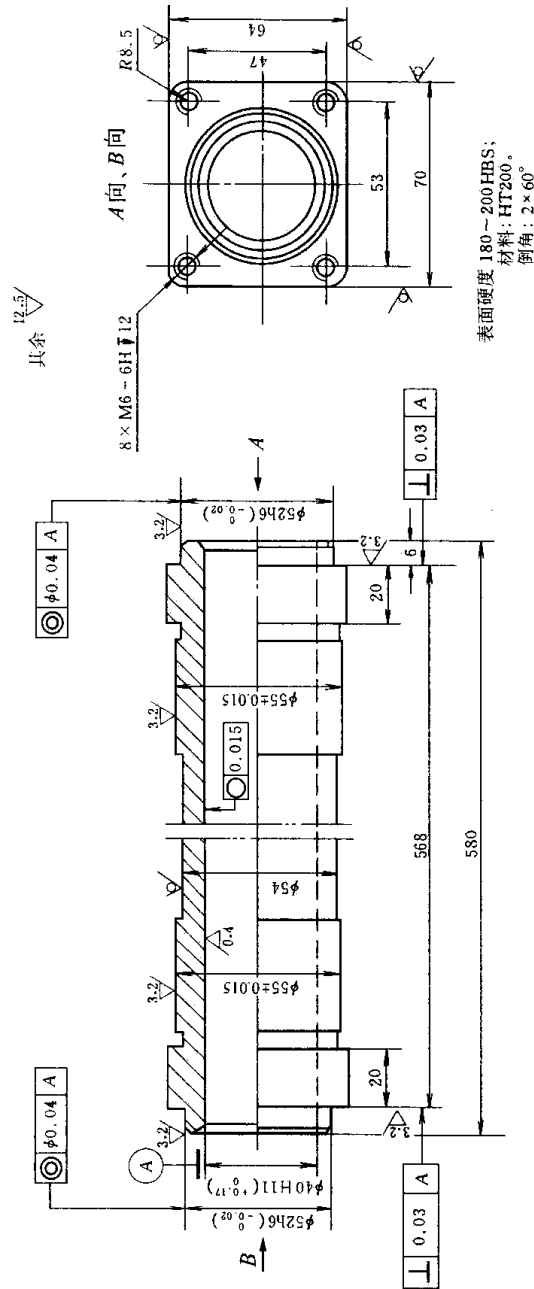


图8—29 多用磨床油缸筒

1. 工艺过程

多用磨床油缸筒机械加工工艺过程，见表 8—10。

2. 工艺分析

(1) 在保证零件位置精度方面，采用了增设面积较大的辅助基准 2 个

编写者：黄曙

## 沅江市职业中专机械加工技术教案

$\phi 55 \pm 0.015$  外圆，分几次安装。

表 8—10 多用磨床油缸筒机械加工工艺过程

| 序 号 | 工序名称  | 工序内容                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 定位基准                                                                     |
|-----|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 制 模   | 按图样要求制作木模                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 非机加工序                                                                    |
| 2   | 铸 造   | 造型、浇注和清砂，铸成毛坯，检验                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 非机加工序                                                                    |
| 3   | 热处理   | 退火                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 非机加工序                                                                    |
| 4   | 钻 孔   | 1. 以 $\phi 52h6$ 处毛外圆及 $64 \times 70$ 方台校正，在端面上划外圆的中心线和孔加工边界线<br>2. 按划线在中心处钻通孔，孔口倒角 $2 \times 60$ 。                                                                                                                                                                                                                | $\phi 52h6$ 处毛外圆                                                         |
| 5   | 粗 车   | 1. 一夹一顶粗车 $\phi 52h6$ 处为 $\phi 56 \pm 0.5$ ，并车外端面，粗车方台外端面，留长度 20 处为 21，粗车 2 个 $\phi 55 \pm 0.015$ 处为 $\phi 59 \pm 0.5$<br>2. 调头，一夹一顶粗车 $\phi 52h6$ 处为 $\phi 56 \pm 0.5$ ，并粗车外端面，取总长为 582，粗车方台外端面留长度 20 处为 21<br>3. 夹紧一头 $\phi 56$ 处，用中心架架 $\phi 59$ 处，粗车孔 $\phi 40H11$ 处为 $\phi 37$ ，孔口倒角 $2 \times 60$ 。<br>4. 检验 | 以一头 $\phi 52h6$ 处外圆和另一头孔口短锥面定位<br>以一头 $\phi 52h6$ 处外圆和另一头 $\phi 59$ 外圆定位 |
| 6   | 热处理   | 时效处理                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                          |
| 7   | 清 理   | 去毛刺和锈，涂红丹底漆                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                          |
| 8   | 磨 削   | 一夹一顶，磨削 2 个 $\phi 55 \pm 0.015$ 至尺寸， $R_a$ 为 $3.2 \mu m$ ，作工艺基准用                                                                                                                                                                                                                                                   | 一头 $\phi 52h6$ 处外圆，另一头为孔口短锥面                                             |
| 9   | 镗 孔   | 用专用夹具安装，粗镗孔 $\phi 40H11$ 处为 $\phi 39.2$ ，半粗镗至 $\phi 39.85$ ，最后精镗至尺寸， $R_a$ 为 $1.6 \mu m$ 。检验                                                                                                                                                                                                                       | 2 个 $\phi 55 \pm 0.015$ 外圆                                               |
| 10  | 精 车   | 1. 用可涨心轴安装工件，精车一头至 $\phi 52h6$ ， $R_a$ 为 $3.2 \mu m$ ，精车方台外端面至方台长 20<br>2. 调头精车另一头至 $\phi 52h6$ ， $R_a$ 为 $3.2 \mu m$ ，精车方台外端面至方台长 20                                                                                                                                                                              | $\phi 40H11$ 孔                                                           |
| 11  | 油 漆   | 两头 $64 \times 70$ 方台涂浅色漆                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                          |
| 12  | 珩 磨   | 珩磨 $\phi 40H11$ 孔至 $R_a$ 值为 $0.4 \mu m$ 。检验                                                                                                                                                                                                                                                                        | $\phi 40H11$ 孔本身                                                         |
| 13  | 钻孔攻螺纹 | 钻 $8 \times M6-6H$ 深 12 孔，螺孔装配时配作                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                          |

第一次安装：加工中先以 2 个  $\phi 5 \pm 0.015$  外圆为基准精镗孔；

第二次安装：再以  $\phi 40H11$  孔为基准，将工件装在可涨心轴上，精车 2 个  $\phi 52h6$  外圆表面以及方台的外圆端面。

这样，既可以减小夹紧变形，保证油缸孔、外圆的尺寸精度和几何形状精度，又能保证孔与外圆的同轴度及端面对孔轴线的垂直度要求。

编写者：黄曙

(2) 划分了粗、精和光整加工三个阶段，并适当安排了热处理工序。

粗加工阶段：退火→粗(车)。通过退火消除应力，改变材料的组织结构，以利于切削。

精加工阶段：时效处理→磨削加工。通过时效处理提高硬度，改善组织，为最终热处理作组织准备。

光整加工阶段：时效处理→磨削加工→光整加工。时效处理的作用与精加工阶段相同，是为最终热处理作组织准备。

(3) 孔  $\phi 40H11$  粗镗、半精镗和精镗在一次安装中完成，此时要注意在半精镗和精镗前松开工件，再以较小的夹紧力夹紧，以保证加工精度。

### 3. 检验

(1) 表面粗糙度 一般采用目测或采用标准样板作比较。

(2) 硬度 可在粗车后选择次要表面处，用布氏硬度计测量，如在  $\phi 54$  外圆处测量。

(3) 表面几何形状精度 圆度、圆柱度等，可用内径百分表、杠杆百分表等检验，也可用杠杆百分表借助 V 型铁在精密平板上测量或用精密量仪来检验，有时也用检验棒来检验。

(4) 尺寸精度 外圆表面：一般用游标卡尺、百分尺来检验；大批生产时，可用极限卡规来检验，如  $\phi 52h6$ 、 $\phi 55$ 。内孔：一般用塞规检验，有时也用内径量具(内径百分表、内径百分尺)检验，如  $\phi 40H11$ 。

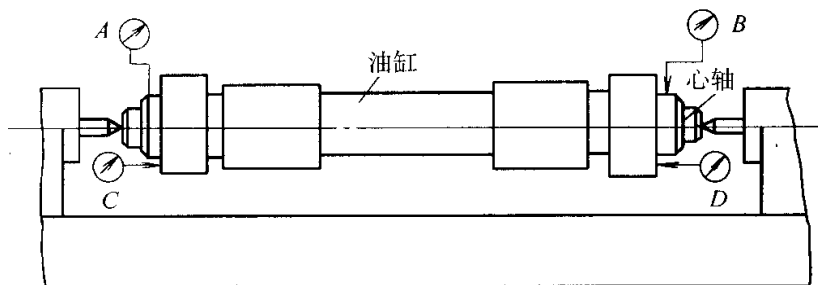


图 8—30 油缸筒的相互位置精度检验

(5) 相互位置精度 一般用内孔作为测量基准，这样可使测量基准既与装配基准重合，又可与设计基准重合，避免因基准不重合而引起测量误差。

图 8—30 所示为检验 2 个  $\phi 52h6$  定位支承外圆对公共基准的同轴度误差，以及端面对内孔轴线的垂直度要求的方法。具体作法如下：

首先，把油缸装在心轴上，在油缸左右两端  $\phi 25h6$  外圆表面及两端处分别装百分表 A、B、C、D，转动油缸筒，观察百分表 A 和 B 的偏转情况。在旋转一圈中，百分表 A、B 的读数分别表示左右两端的  $\phi 52h6$  外圆表面相对于  $\phi 40H11$  轴心线的径向圆跳动。径向圆跳动综合反映了油缸的同轴度误差和几何形状误差。如果几何形状误差很小，可以不考虑其影响时，则百分表 A、B 的读数值的一半分别为左右两端  $\phi 52h6$  外圆表面相对于内孔心轴的同轴度。百分表 C、D 分别检查端面对孔轴心线的垂直度。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                |
|--------|------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                     |
| 课    题 | 箱体类零件加工                                        |
| 教    者 | 黄    曙                                         |
| 教案序号   | 第    39    教案                                  |
| 教学目的   | 1、了解箱体类零件的功用<br>2、熟悉箱体零件的结构特点<br>3、掌握箱体零件的技术要求 |
| 重点难点   | 1、箱体类零件的功用<br>2、箱体类零件的平面及孔系<br>3、箱体零件的技术要求     |
| 作    业 | 1、P242.7<br>2、                                 |
| 复    习 |                                                |
| 导    入 |                                                |
| 后    记 |                                                |

### 第三节 箱体类零件加工

#### 一、了解箱体类零件

##### (一) 箱体类零件的功用

箱体类零件是箱体内零部件装配时的基础零件，它的主要作用是容纳和支承其内的所有零部件，并保证它们相互间的正确位置，使彼此之间能协调地运转和工作。因而，箱体类零件的精度对箱体内零部件的装配精度有决定性影响。它的质量，将直接影响着整机的性能、精度和寿命。

##### (二) 箱体零件的结构特点

箱体零件由于功用不同，其结构形状往往有较大差别。但各种箱体零件在结构上仍有一些共同特点：

- (1) 外表面主要由平面构成，结构形状都比较复杂，内部有腔型，箱壁较薄；
- (2) 在箱壁上既有许多精度较高的轴承孔和基准平面需要加工，也有许多精度较低的紧固孔和一些次要平面需要加工。

精度要求较高的孔、孔系和基准平面构成了箱体类零件的主要加工表面。

##### 1. 平面

平面是箱体、机座、机床床身和工作台类零件的主要表面。根据其作用不同平面可分为以下几种：

- (1) 非接合平面 这种平面不与任何零件相配合，一般无加工精度要求，只有当表面为了增加抗腐蚀和美观时才进行加工，属于低精度平面。
- (2) 接合平面 这种平面多数用于零部件的连接面，如车床的主轴箱、进给箱与床身的连接平面，一般对精度和表面质量的要求均较高。
- (3) 导向平面 如各类机床的导轨面，这种平面的精度和表面质量要求极高。
- (4) 测量平面 这种平面如钳工的平台、平尺的测量面和计量用量块的测量平面等。这种平面要求精度和表面质量均很高。

##### 2. 孔系

孔和孔系是由轴承支承孔和许多相关孔组成。由于它们加工精度要求高、加工难度大，是机械加工中的关键。

##### (三) 箱体零件的技术要求

为了保证箱体零件的装配精度，达到机器设备对它的要求，对箱体零件的主要技术要求有以下几个方面：

##### 1. 孔系的技术要求

- (1) 支承孔的尺寸精度、几何形状精度和表面粗糙度 轴承支承孔应有较高的尺寸精度、几何形状精度和较严格的表面粗糙度要求。否则，将影响轴承外圆与箱体上孔的配合精度，使轴的旋转精度降低；若是主轴支承孔，还会进一步影响机床的加工精度。一般机床的主轴箱，主轴支承孔精度为 IT6，表面粗糙度值  $R_a$  为  $1.6 \sim 0.8 \mu m$ ，其他支承孔精度为 IT7~IT6，表面粗糙度值  $R_a$  为  $3.2 \sim 1.6 \mu m$ 。几何形状精度一般应在孔的公差范围内，要求高的应不超过孔公差的  $1/3$ 。

(2) 支承孔之间的孔距尺寸精度及相互位置精度要求 在箱体上有齿轮啮合关系的支承孔之间, 应有一定的孔距尺寸精度及平行度要求, 否则会影响齿轮的啮合精度, 工作时会产生噪声和振动, 并影响齿轮的寿命。该精度主要取决于传动齿轮副的中心距允差与啮合齿轮精度。一般箱体的中心距允差为 $\pm 0.025 \sim 0.06 \text{ mm}$ , 轴心线平行度允差在全长取 $0.03 \sim 0.1 \text{ mm}$ 。

箱体上同轴线孔应有一定的同轴度的要求。同轴线孔的同轴度超差, 不仅会给箱体中轴的装配带来困难, 且使轴的运转情况恶化, 轴承磨损加剧, 温度升高, 影响机器设备的精度和正常运转。一般同轴线的孔的同轴度不应超过最小孔径公差的一半。

### 2. 主要平面的形状精度、相互位置精度和表面质量

(1) 形状精度是指平面度、直线度等。

(2) 位置精度是指平面之间或平面对轴线间的平行度、垂直度和倾斜度等。

(3) 表面质量是指表面粗糙度、表层硬度、残余应力和显微组织等。

箱体的主要平面就是装配基面或加工中的定位基面, 它们直接影响箱体与机器总装时的相对位置及接触刚性, 影响箱体加工中的定位精度, 因而有较高的平面和表面粗糙度要求。一般机床箱体装配基面和定位基面的平面度允差为 $0.03 \sim 0.1 \text{ mm}$ 范围内, 表面粗糙度值  $R_a$  为 $3.2 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 。

其他平面也有相应的精度要求, 如一般平面间的平行度允差约在 $0.05 \sim 0.2 \text{ mm}$  / 全长范围内; 平面间的垂直度约为 $0.1 \text{ mm} / 300 \text{ mm}$  左右。

### 3. 支承孔与主要平面的尺寸精度及相互位置精度

箱体上各支承孔对装配基面在水平面内有偏斜, 则加工时工件会产生锥度, 主轴孔中心线对端面的垂直度超差, 装配后将引起机床两端的跳动等。

### 4. 材料

箱体零件的材料常用普通灰铸铁, 对于负荷较大的减速箱体, 有时也采用铸钢件, 对于为了减轻重量的箱体, 可采用铝镁合金或其它铝合金。在单件小批生产情况下, 为了缩短生产周期, 有时采用焊接件。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                          |
|--------|------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                               |
| 课    题 | 箱体零件的平面加工方法                              |
| 教    者 | 黄    曙                                   |
| 教案序号   | 第    40    教案                            |
| 教学目的   | 1、平面的刨削<br>2、平面的铣削<br>3、平面的磨削<br>4、平面的刮削 |
| 重点难点   | 1、平面的铣削<br>2、平面的磨削<br>3、                 |
| 作    业 | 1、实训加工<br>2、                             |
| 复    习 |                                          |
| 导    入 |                                          |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生实操。                          |

二、 箱体零件的平面加工方法

(一) 刨削

刨削加工可达到的公差等级为 IT10~IT7，表面粗糙度值 Ra 为 6.3~1.6 μm。

平面加工方法的选择，除了根据表面精度和表面粗糙度要求外，还应考虑零件的结构形状、尺寸、材料的性能和热处理要求以及生产批量等，常见的平面刨削加工方案见表 8—11。

表 8—11 平面刨削加工方案

| 刨削类型  | 加工方案            | 表面粗糙度值 Ra / μm | 适用范围         |
|-------|-----------------|----------------|--------------|
| 低精度平面 | 粗刨              | 50~6.3         | 淬火钢零件除外的平面   |
| 中精度平面 | 粗插—精插           | 6.3~1.6        | 封闭的内平面、狭长平面  |
|       | 粗刨—精刨           |                |              |
| 高精度平面 | 粗刨—精刨—宽刀精刨(代刮)  | 0.8~0.2        | 有色金属、未淬火钢、铸铁 |
|       | 粗刨—精刨—磨削        |                |              |
| 精密平面  | 粗刨—精刨—宽刀精刨      | 0.4~0.12       | 淬火钢、未淬火钢和铸铁  |
|       | 粗刨—精刨—宽刀精刨—超级光磨 |                |              |

宽刃刀精刨削是机械加工中用于精密的大型平面、导轨面、工作台表面等的加工，用来替代手工刮削，改进了效率低、劳动强度大的不足，并能获得较好的加工质量。

宽刃刀精刨削加工通常是在刚性好的、精度较高的龙门刨床上的进行的，要求工作台运动时平稳、无冲击和爬行现象，并使用具有宽而平直刀刃的精刨刀。在加工铸件时，应选用较低的切削速度( $v=2\sim8\text{ m/min}$ )，极小的背吃刀量(半精刨时为 0.005~0.10 mm，精刨时为 0.03~0.05mm)，很大的进给量(可达 6 mm)，在 100 mm 长度范围内的直线度误差为 0.02~0.03 mm。粗、精刨应用两把刀，以提高加工质量。

精刨前，应先用切削液将工件表面充分均匀湿润，以获得充分良好的润滑效果。在精刨过程中，应将切削液连续喷射在宽刨刀刃口处，以避免出现刀痕，影响工件的表面粗糙度。

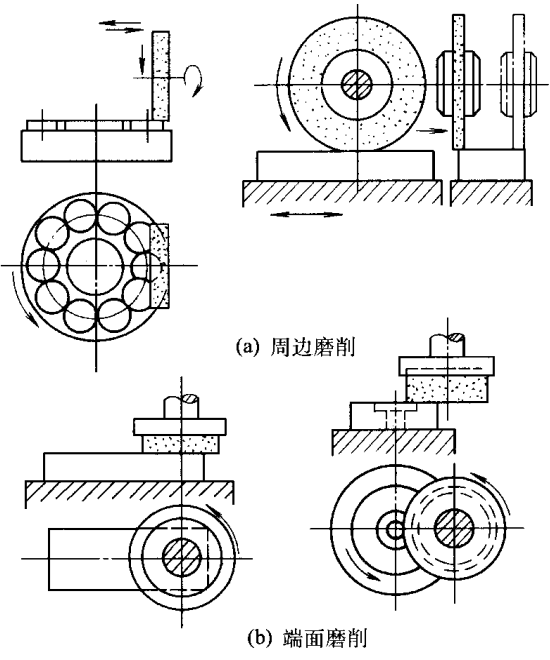


图 8—31 磨削平面方式

采用精刨的零件材料应组织均匀、硬度差别不大，无砂眼和疏松等缺陷。对定位表面与支承表面接触面积小，或刚性较差的机架，为减小切削力，防止工件变形，可采用窄刀精刨加工。

(二) 铣削

铣削平面一般能达到的要求为：粗铣平面的直线度误差为  $0.15 \sim 0.3 \text{ mm/m}$ ，表面粗糙度值  $R_a$  为  $12.5 \sim 3.2 \text{ }\mu\text{m}$ ；半精铣平面的直线度误差为  $0.1 \sim 0.2 \text{ mm/m}$ ，表面粗糙度值  $R_a$  为  $3.2 \sim 0.8 \text{ }\mu\text{m}$ ；精铣平面的直线度误差为  $0.04 \sim 0.08 \text{ mm/m}$ ，表面粗糙度值  $R_a$  为  $0.8 \sim 0.4 \text{ }\mu\text{m}$ 。

铣削平面主要有两种方法：

1. 采用圆柱铣刀铣削平面

圆柱铣刀是标准化刀具，它有粗齿和细齿之分。粗加工时选用粗齿铣刀，半精加工时选用细齿铣刀。这种铣削方法一般适用于加工中小型工件。大型或组合表面的工件则多用组合圆柱铣刀铣削。

(1) 直齿圆柱铣刀 由于刀齿不断地在工件表面上切入切出，切削力很不均匀，从而会引起冲击振动，影响加工表面的质量，目前已很少应用。

(2) 螺旋齿圆柱铣刀 由于螺旋齿圆柱铣刀刀齿是在工件表面上逐渐切入切出的，因此切削力比较均匀，加工较平稳。

2. 采用端面铣刀铣削平面

表 8—12 常用的平面铣削加工方案

| 铣削类型  | 加工方案                            | 表面粗糙度值 $R_a$<br>/ $\mu\text{m}$ | 适用范围                          |
|-------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 中精度平面 | 粗铣—精铣                           | $0.8 \sim 0.4$                  | 宽大平面                          |
| 高精度平面 | 粗铣—精铣—高速精铣<br>粗铣—精铣—磨削<br>粗铣—拉削 | $0.2 \sim 0.025$                | 有色金属、未淬火钢、铸铁、淬火钢、未淬火钢和铸铁大批量生产 |
| 精密平面  | 粗铣—精铣—高速精铣—抛光<br>粗铣—精铣—磨削—研磨    | $0.05 \sim 0.012$               | 除淬火钢以外                        |

由于铣刀盘直径大 ( $65 \sim 600 \text{ mm}$ )，安装的刀片多，同时参与切削的刀齿多，因此加工较平稳。而且端面铣刀刚性好，能以较大的进给量进行切削。铣刀盘的刀齿通常镶有硬质合金，可进行高速切削。有时也可采用多个铣刀盘，同时铣若干个平面。此外，铣刀上还有修光刃，可起刮削和修光表面作用。

这种加工方法，不仅生产率高，而且能获得较细的表面粗糙度。因此，在大批生产中，采用端面铣刀铣削平面的方法得到了广泛地应用。

在机床功率和工艺系统刚性允许的条件下，如对零件的加工精度要求不高、加工余量较大 ( $2 \sim 6 \text{ mm}$ )，则可一次铣去全部加工余量。当零件的加工精度要求较高或加工表面粗糙度值  $R_a$  在  $3.2 \text{ }\mu\text{m}$  以下时，铣削应分粗铣和精铣进行。当铣削余量在  $7 \sim 12 \text{ mm}$  以上时，采用阶梯面铣刀铣削，可一次加工完全部余量。

常用的平面铣削加工方案列于表 8—12。

### (三) 磨削

磨削通常用来精加工铣削或刨削后的平面，以及淬硬零件的表面。

平面磨削的基本方式有：

#### 1. 周边磨削

如图 8—31a 所示，周边磨削时砂轮与工件接触面积较小，切削过程中发热量小、散热快、排屑和冷却情况良好，加工时工件不易产生热变形，因而能获得较高的精度和较小的表面粗糙度值。但由于砂轮与工件的接触面积小，生产率较低，所以，只用于成批生产中被加工平面精度要求较高的工件。

#### 2. 端面磨削

如图 8—31b 所示，端面磨削时砂轮轴伸出较短，刚性好，机床功率大；砂轮主轴主要受轴向力，弯曲变形较小，因此可以采用较大的磨削用量。磨削时砂轮与工件接触面积大，所以生产率高。另外，由于砂轮与工件接触面积大，易发热，散热及冷却条件比较差，工件热变形较大，使加工精度较低。此法常用于加工大平面或大批生产的精度要求不高的工件。

常用的平面磨削加工方案列于表 8—13。

表 8—13 常用的平面磨削加工方案

| 类型       | 加工方案            | 表面粗糙度 Ra<br>/ $\mu\text{m}$ | 适用范围        |
|----------|-----------------|-----------------------------|-------------|
| 高精度平面的加工 | 粗刨—精刨—磨削        | 0.8~0.4                     | 淬火钢、未淬火钢和铸铁 |
| 精密平面的加工  | 粗刨—精刨—宽刀精刨—超级光磨 | 0.1~0.012                   |             |

### (四) 刮削

刮削是利用刮刀刮除工件表面薄层的加工方法，是光整加工的一种，属精密加工。它一般用于精加工之后，可获得很高的精度和很精细的表面。刮削平面可使两个平面之间达到非常良好的接触和紧密吻合，并可获得较高的直线度和相对位置精度，加润滑油后，可以形成具有润滑油膜的滑动面，又可降低相对运动表面的摩擦、增加零件接合面的刚度、可靠地提高设备或机床的精度。

刮削最大的特点是不需要特殊设备和复杂的工具，却能达到很高的精度和很精细的表面，且能加工很大的平面，但生产率低、劳动强度大、对操作工人的技术要求高。采用机动刮削的方法来代替繁重的手工操作是必然趋势。

#### 1. 刮削余量

刮削余量应根据被加工表面的尺寸和精度要求来确定，见表 8—14。

#### 2. 刮削的种类

(1)粗刮 经过预加工或时效处理后的工件，表面上有显著的加工痕迹，或加工余量大于 0.04 mm 时，则需进行粗刮。

(2)精刮 粗刮后，表面的波度较大，用红丹粉涂色作显示后，吻合的斑点少而疏，分布也不均匀，这时需要进行精刮。

表 8—14 刮削余量      mm

| 平面长度<br>平面宽度 | 刮 削 平 面 的 余 量 |           |             |             |             |
|--------------|---------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
|              | 100~500       | 500~1 000 | 1 000~2 000 | 2 000~4 000 | 4 000~6 000 |
| 1~100        | 0.1           | 0.15      | 0.20        | 0.20        | 0.30        |
| 100~500      | 0.15          | 0.20      | 0.25        | 0.30        | 0.40        |
| 500~1 000    | 0.18          | 0.25      | 0.35        | 0.35        | 0.50        |

(3)精细刮 精刮后进行精细刮，可以进一步提高表面质量，但对尺寸精度的影响却很小。重要的零件精细刮时要保持一定的温度。

(4)刮花 刮花是为了美观或用以存储润滑油，对提高表面质量作用不大。在使用中可借助刮花的消失来判别平面的磨损程度。

### 3. 刮削的检验

刮削后的表面质量是用单位面积上接触点的数目来评定的。刮削表面接触点的吻合度，通常用红丹粉涂色作显示，以标准平板、研具或配研的零件来检验。经过刮削后的平面，检验表面质量显示标准是：

(1)粗刮在 25 mm×25 mm 内的接触点分别为 2~3 高点。

(2)精刮在 25 mm×25 mm 内的接触点为 12~15 高点。

(3)精细刮在 25 mm× 25 mm 内的接触点为 20 高点以上。

(4)刮削过的平面，应有与网纹相似的细致而均匀的纹路，但不应有任何刮伤和刀痕。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                     |
|--------|-------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                          |
| 课    题 | 箱体零件的孔系加工                           |
| 教    者 | 黄    曙                              |
| 教案序号   | 第    41    教案                       |
| 教学目的   | 1、了解孔系常用的加工方法<br>2、掌握平行孔系加工方法<br>3、 |
| 重点难点   | 1、孔系常用的加工方法<br>2、找正法加工<br>3、镗模加工    |
| 作    业 | 1、P242.8<br>2、P242.9                |
| 复    习 |                                     |
| 导    入 |                                     |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生观看操作视频。                 |

### 三、箱体零件的孔系加工

箱体上一系列有相互位置精度要求的轴承支承孔称为“孔系”。它包括平行孔系、同轴孔系和交叉孔系，如图 8—32 所示。孔系的相互位置精度有：各平行孔轴线之间的平行度、孔轴线与基面之间的平行度、孔距精度、各同轴孔的同轴度、各交叉孔的垂直度等要求。常用加工方法如下：

#### 1. 找正法

加工前先在毛坯上划出各孔的加工线，未铸出的孔应先钻出通孔，然后在铣床或镗床上按划线一一进行找正加工。找正法所能达到的孔距精度低。若改用试切法找正或样板找正，可提高孔距精度。但采用找正法加工孔系工时长，工作量大，并要求有较高的操作技术水平。该法只适用于单件小批生产。

#### 2. 镗模法

在中批、大批生产中广泛采用镗模法加工孔系。模板上的导向孔已经包括了箱体各面上所有要加工的孔，镗杆一般都采用两个支承来引导并与机床主轴浮动连接。这样，可使工件的精度不依赖于机床精度，而主要由镗模、镗杆及刀具来保证。

#### 3. 坐标法

坐标法是按孔系的坐标尺寸，在普通镗床、立式铣床或坐标镗床上借助测量装

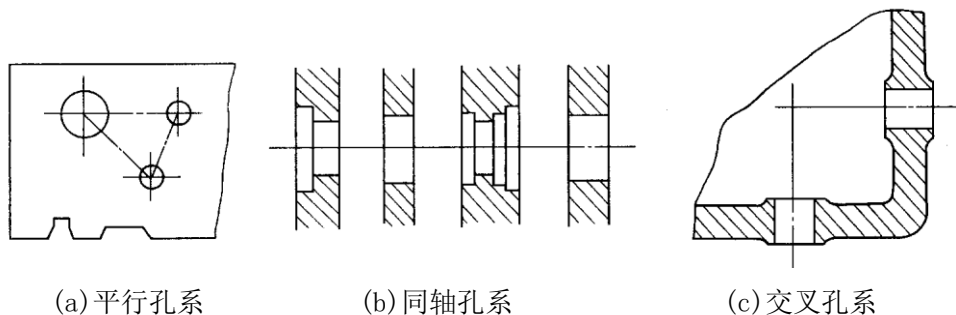


图 8—32 孔系的分类

置进行加工的。其孔距精度决定于坐标位移精度，而且不需要专用夹具就能适应各种规格箱体加工，通用性好。普通镗床的坐标测量方法主要有以下几种：

- (1) 采用普通刻线尺与游标尺放大镜测量，其位置精度为 0.1~0.3 mm。
- (2) 采用百分表与量块(或量杆)测量，一般与普通刻线尺配合使用，其位置精度可达 0.04mm~0.08 mm，但测量操作繁琐，效率较低。
- (3) 采用经济刻线尺与光学读数装置。

#### (一) 平行孔系加工

平行孔系的主要技术要求是各平行孔中心线之间及孔中心线与基准面之间的距离尺寸精度和相互位置精度。常用保证孔系的位置精度方法：

##### 1. 找正法加工

找正法的实质是在通用机床上(如铣床、普通镗床)，依据操作者的技术，并借助一些辅助装置去找正每一个被加工孔的正确位置。根据找正的手段不同，找正法又可分为划线找正法、量块心轴找正法、样板找正法等。

(1) 划线找正法 加工前先在毛坯上按图纸要求划好各孔位置轮廓线,加工时按划线——找正进行加工。这种方法所能达到的孔距精度一般为 $\pm 0.5\text{ mm}$ 左右。此法操作设备简单,但操作难度大,生产效率低,同时,加工精度低受操作者技术水平和采用的方法影响较大,故适于单件小批生产。

(2) 量块心轴找正法 如图 8—33 所示,将精密心轴分别插入机床主轴孔和已加工孔中,然后用一定尺寸的块规组合来找正心轴的位置。找正时,在量块心轴之间要用厚薄规测定间隙,以免量块与心轴直接接触而产生变形。此法可达到较高的孔距精度( $\pm 0.3\text{ mm}$ ),但只适用于单件小批生产。

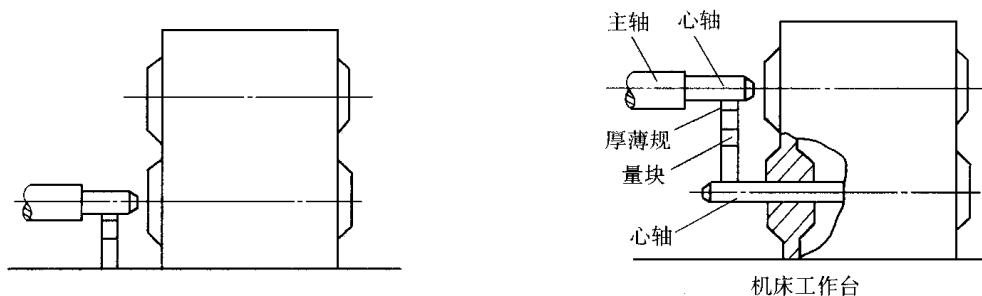


图 8-33 用量块心轴找正

(3) 样板找正法 如图 8-34 所示,将工件上的孔系复制在  $10\sim 20\text{ mm}$  厚的钢板制成的样板上,样板上孔系的孔距精度较工件孔系的孔距精度较高(一般为 $\pm 0.01\sim 0.03\text{ mm}$ ),孔径较工件的孔径大,以便镗杆通过;孔的直径精度不需要严格要求,但几何形状精度和表面粗糙度要求较高,以便找正。使用时,将样板装于被加工孔的箱体端面上(或固定于机床工作台上),利用装在机床主轴上的百分表找正器,按样板上的孔逐个找正机床主轴的位置进行加工。该方法加工孔系准确程度较高,找正迅速,孔距精度可达 $\pm 0.05\text{ mm}$ ,工艺装备也不太复杂,常用于加工大型箱体的孔系。

## 2. 镗模加工

如图 8—35 所示:工件装夹在镗模上,镗杆被支承在镗模的导套里,由导套引导镗杆在工件上正确位置镗孔。镗杆与机床主轴多采用浮动连接,机床精度对孔系加工精度影响较小,孔距精度主要取决于镗模,因而可以在精度较低的机床上加工出精度较高的孔系。同时,镗杆刚度大大地提高,有利于采用多刀同时切削;定位夹紧迅速,不需找正,生产效率高。因此,因此,广泛应用于中批生产和小批量结构复杂、加工量大的箱体孔系的生产中。

另外,由于镗模上自身的制造误差和导套与镗杆的配合间隙对孔系加工精度有一定影响,所以,该方法不可能达到很高的加工精度。一般孔径尺寸精度为 IT7 左右,表面粗糙度值  $R_a$  为  $1.6\sim 0.8\text{ }\mu\text{m}$ ;孔与孔的同轴度和平行度,当从一头开始加工,可达  $0.02\sim 0.03\text{ mm}$ ,从两头加工可达  $0.04\sim 0.05\text{ mm}$ ;孔距精度一般为 $\pm 0.05\text{ mm}$ 左右。对于大型箱体零件来说,由于镗模的尺寸庞大笨重,给制造和使用带来了困难,故很少采用。

用镗模加工孔系，既可以在通用机床上加工，也可以在专用机床或组合机床上加工。

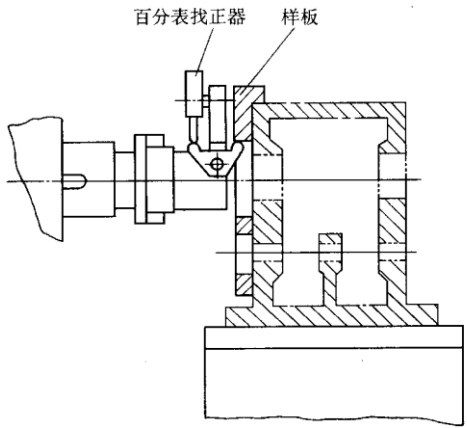


图 8—34 样板找正法

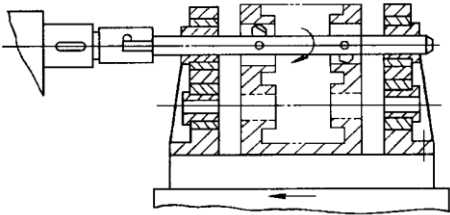


图 8—35 用镗模加工孔系

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                  |
|--------|--------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                       |
| 课    题 | 同轴孔系、交叉孔系加工                                      |
| 教    者 | 黄    曙                                           |
| 教案序号   | 第    42    教案                                    |
| 教学目的   | 1、了解同轴孔系加工<br>2、了解交叉孔系加工<br>3、                   |
| 重点难点   | 1、通用机床上加工单件小批量同轴孔系的方法<br>2、交叉孔系的主要技术条件<br>3、加工实例 |
| 作    业 | 1、观看加工视频<br>2、                                   |
| 复    习 |                                                  |
| 导    入 |                                                  |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生观看加工视频。                              |

## (二) 同轴孔系加工

在中批以上生产中,一般采用镗模加工同轴孔系,其同轴度由镗模保证;当采用精密刚性主轴组合机床从两头同时加工同轴线的各孔时,其同轴度则由机床保证,可达  $0.01\text{ mm}$ 。

单件小批生产时,在通用机床上加工,且一般不使用镗模,保证同轴线孔的同轴度有下列方法:

(1) 利用已加工孔作支承导向 如右图 8—36 所示,当箱体前壁上的孔加工完后,在该孔内装一导套,支承和引导镗杆加工后壁上的孔,以保证两孔的同轴度要求。此法适于加工箱体壁相距较近的同轴线孔。

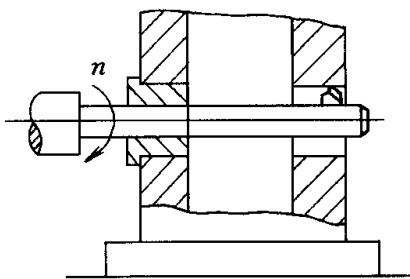


图 8—36 利用已加工孔导向

(2) 利用镗床后立柱上的导向套支承镗杆 采用这种方法,镗杆是两端支承,刚性好,但立柱导套的位置调整比较费时,往往需要用心轴块规找正,且需要用较长的镗杆,此法多用于大型箱体的同轴孔系加工。

(3) 采用掉头镗法 当箱体箱壁相距较远时,宜采用掉头镗法。即在工件的一次安装中,当箱体一端的孔加工后,将工作台掉转  $180^\circ$ ,再加工箱体另一端的同轴线孔。掉头镗不用夹具和长刀杆,准备周期短;镗杆悬伸长度短,刚度好;但需要调整工作台的回转误差和掉头后主轴应处于的正确位置,比较麻烦,又费时。掉头镗的调整方法如下:

①校正工作台回转轴线与机床主轴轴线相交,定好坐标原点。其方法如图 8—37a 所示。将百分表固定在工作台上,回转工作台  $180^\circ$ ,分别测量主轴两侧,使其误差小于  $0.01\text{ mm}$ ,记下此时工作台在  $x$  轴上的坐标值作为原点的坐标值。

②调整工作台的回转定位误差,保证工作台精确地掉转  $180^\circ$ 。其方法如图 8—37b 所示,先使工作台紧靠在回转定位机构上,在台面上放一平尺,通过装在镗杆上的百分表找正平尺一侧面后将其固定,再掉转工作台  $180^\circ$ ,测量平尺的另一侧面,调整回转定位机构,使其回转定位误差小于  $0.02\text{ mm} / 1\ 000\text{ mm}$ 。

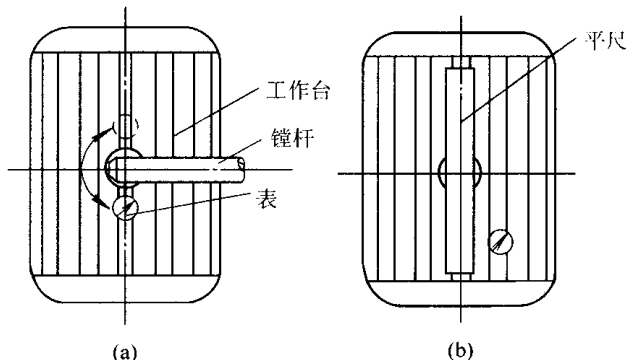


图 8—37 掉头镗的调整方法

## (三) 交叉孔系加工

③当完成上述调整准备工作后,就可以进行加工。先将工件正确地安装在工作台面上,用坐标法加工好工件一端的孔,各孔到坐标点的坐标值应与掉头前相应的同轴线孔到坐标原点的坐标值大小相等,方向相反,其误差小于  $0.01\text{ mm}$ ,这样就可以得到较高的同轴度。

交叉孔系的主要技术条件为控制各孔的垂直度。在普通镗床上主要靠机床工作台上的  $90^\circ$  对准装置。因为它是挡块装置，故结构简单，但对准精度低。每次对准，需要凭经验保证挡块接触松紧程度一致，否则不能保证对准精度。所以，有时采用光学瞄准装置。

当普通镗床的工作台  $90^\circ$  对准装置精度很低时，可用心棒与百分表找正法进行。即在加工好的孔中插入心棒，然后将工作台转  $90^\circ$ ，摇工作台用百分表找正，如图 8—38 所示。

箱体上如果有交叉孔存在，则应将精度要求高或表面要求较精细的孔先全部加工好，然后再加工另外与之相交叉的孔。

#### (四) 孔系加工的发展趋势

由于箱体孔系的精度要求高，加工量大，实现加工自动化对提高产品质量和劳动生产率都有重要意义。随着生产批量的不同，实现自动化的途径也不同。大批生产箱体，广泛使用组合机床和自动线加工，不但生产率高，而且利于降低成本和稳

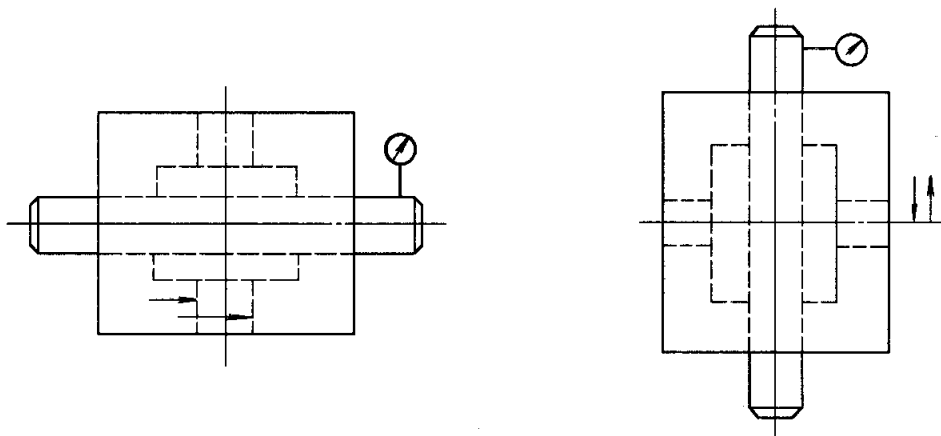


图 8—38 找正法加工交叉孔系

定产品质量。单件小批生产箱体，大多数采用万能机床，产品的加工质量主要取决于机床操作者的技术熟练程度。但加工具有较多加工表面的复杂箱体时，如果仍用万能机床加工，则工序分散，占用设备多，要求有技术熟练的操作者，生产周期长，生产效率低，成本高。为了解决这个问题，可以采用适于单件小批生产的自动化多工序数控机床。这样，可用最少的加工装夹次数，由机床的数控系统自动地更换刀具，连续地对工件的各个加工表面自动地完成铣、钻、扩、镗(铰)及攻螺纹等工序。所以，对于单件小批、多品种的箱体孔系加工，这是一种称为“机械加工中心”较为理想的设备。

**例** 图 8—39 所示为剖分式箱体结构简图，生产类型是大批生产。该箱体的加工工艺过程见表 8—15～表 8—17。

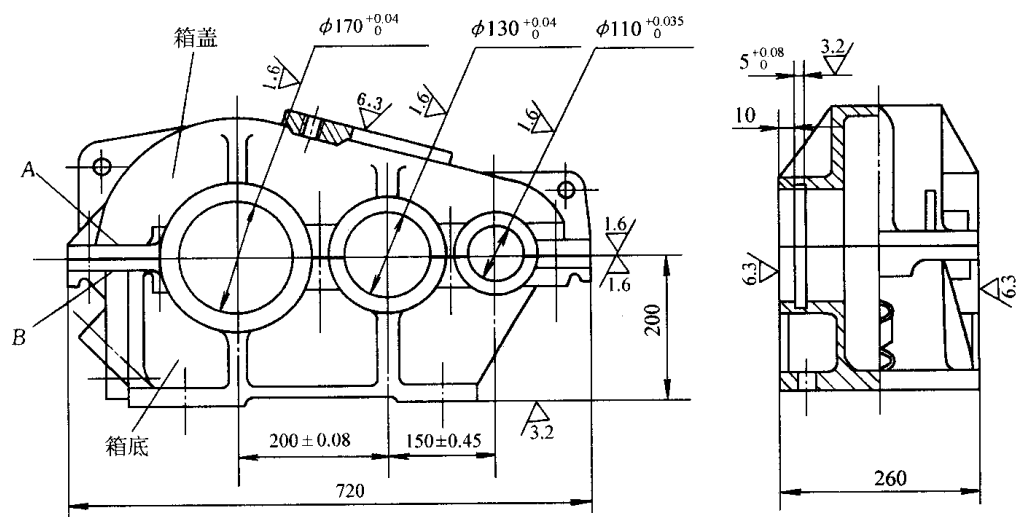


图 8—39 剖分式箱体的结构简图

表 8—15 箱盖的加工工艺过程

| 序号 | 工 序 内 容             | 定 位 基 准                                  |
|----|---------------------|------------------------------------------|
| 1  | 铸造                  | 凸缘A面<br>接合面<br>顶面<br>接合面、凸缘的轮廓<br>接合面及三孔 |
| 2  | 时效                  |                                          |
| 3  | 油漆底漆                |                                          |
| 4  | 粗刨接合面               |                                          |
| 5  | 刨顶面                 |                                          |
| 6  | 磨接合面                |                                          |
| 7  | 钻接合面连接孔、螺纹底孔、铰沉孔、攻丝 |                                          |
| 8  | 钻顶面螺纹底孔、攻丝          |                                          |
| 9  | 检验                  |                                          |

表 8—16 箱底的加工工艺过程

| 序号 | 工 序 内 容                 | 定 位 基 准                                 |
|----|-------------------------|-----------------------------------------|
| 1  | 铸造                      | 凸缘B面<br>接合面<br>接合面、端面、侧面<br>底面、三孔<br>底面 |
| 2  | 时效                      |                                         |
| 3  | 油漆底漆                    |                                         |
| 4  | 粗刨接合面                   |                                         |
| 5  | 刨底面                     |                                         |
| 6  | 钻底面4孔、铰沉孔、铰其中2孔，备工艺用    |                                         |
| 7  | 钻侧面测油孔、放油孔、螺纹底孔、铰沉孔、攻螺纹 |                                         |
| 8  | 磨接合面                    |                                         |
| 9  | 检验                      |                                         |

**沅江市职业中专机械加工技术教案**

表 8—17 箱体合箱后的加工工艺过程

| 序号 | 工 序 内 容                                         | 定 位 基 准                    |
|----|-------------------------------------------------|----------------------------|
| 1  | 将箱盖与箱座对准合拢夹紧、配钻、铰两定位销孔并打入锥销，根据箱盖配钻箱座接合面的连接孔、铰沉孔 | 底面及两销孔<br>底面及两销孔<br>底面及两销孔 |
| 2  | 拆開箱盖与箱底、清除接合面的毛刺和切屑后，重新装配箱体、打入锥销、拧紧螺栓           |                            |
| 3  | 铣两端面                                            |                            |
| 4  | 粗镗轴承支承孔、割孔内槽                                    |                            |
| 5  | 精镗轴承支承孔                                         |                            |
| 6  | 去毛刺、清洗、打标记                                      |                            |
| 7  | 检验                                              |                            |

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                      |
|--------|------------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                           |
| 课    题 | 了解圆柱齿轮                                               |
| 教    者 | 黄    曙                                               |
| 教案序号   | 第    43    教案                                        |
| 教学目的   | 1、了解圆柱齿轮结构特点<br>2、熟悉圆柱齿轮传动的技术要求<br>3、掌握圆柱齿轮齿形加工方法及装备 |
| 重点难点   | 1、圆柱齿轮结构特点<br>2、圆柱齿轮传动的技术要求<br>3、成形法、展成法             |
| 作    业 | 1、一般成形铣刀同一模数有组？列出常刀号及对应加工齿数范围。<br>2、圆柱齿轮传动的技术要求有哪些？  |
| 复    习 |                                                      |
| 导    入 |                                                      |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生了解齿轮及铣刀                                  |

## 第四节 圆柱齿轮加工

### 一、了解圆柱齿轮

齿轮是机械传动中广泛应用的零件之一。齿轮传动能按一定的传动比传递运动和动力，它在机器和仪器中应用很广。齿轮传动的性能，即传递运动的准确性、传动的平稳性、噪声、振动、载荷分布的均匀性，以及润滑等都与齿轮的加工质量和制造精度密切相关。本节主要介绍圆柱齿轮的结构特点、技术要求以及机械加工工艺和装备。

#### (一) 结构特点

齿轮在机器中的功用不同而有不同的形状和尺寸，齿轮都由齿圈和轮体两个部分组成。齿圈上的齿有直齿、斜齿等，轮体上有轴孔或轮轴。

根据齿轮轮体的结构形状不同来划分，常见的圆柱齿轮有外齿轮(轮齿分布在圆柱体外表面上)、内齿轮(轮齿分布在空心圆柱体内表面上)、齿轮轴(齿轮和轴制成一体)、扇形齿轮、齿条(即齿圈半径无限大的圆柱齿轮)。

一个圆柱齿轮可以有一个或多个齿圈。普通的单齿圈齿轮，工艺性最好。如果齿轮精度要求高，需要剃齿或磨齿时，通常将多齿圈齿轮做成单齿圈齿轮的组合结构。

#### (二) 圆柱齿轮传动的技术要求

齿轮传动装置包括齿轮、轴、箱体等零件，其中齿轮的加工质量和安装精度直接影响着该传动装置的传动性能。根据齿轮的使用条件，对齿轮传动有如下要求：

##### 1. 传递运动的准确性

齿轮传动传递运动的准确性是指当主动轮转过一个角度时，从动轮应按给定的传动比转过相应角度，即传动比为常数。要求齿轮在一转中，转角误差的最大值不得超过一定的限度即齿轮精度应符合第 I 公差组中各项规定。

##### 2. 工作平稳性

要求齿轮传动平稳，无冲击，振动和噪声小，这就需要限制齿轮传动时，瞬时传动比的变化，即齿轮精度应符合第 II 公差组中各项规定。

##### 3. 载荷分布均匀性

齿轮载荷由齿面承受，两齿轮啮合时，接触面积的大小对齿轮的使用寿命影响很大。所以齿面载荷分布的均匀性，由接触精度来衡量，应符合第 III 公差组中各项规定。

##### 4. 齿侧间隙

一对相互啮合的齿轮，其非工作表面必须留有一定的间隙，即为齿侧间隙，其作用是储存润滑油，使工作齿面形成油膜，减少磨损；同时可以补偿热变形、弹性变形、加工误差和安装误差等因素引起的侧隙减小，防止卡死，应当根据齿轮副的工作条件，来确定合理的侧隙。

以上几个方面要求，根据齿轮传动装置的用途和工作条件各项要求可能有所不同。

(三) 圆柱齿轮齿形加工方法及装备

齿轮加工的关键是齿形加工。齿形加工包括齿形的切削加工和齿面的磨削加工。按照加工原理，齿形加工方法可以分为成形法和展成法两大类。表 8—18 为常用的齿形加工方法及设备。

表 8—18 常用齿形加工方法及设备

| 齿形加工方法 |      | 刀 具  | 机 床 | 加工精度和适用范围                                                 |
|--------|------|------|-----|-----------------------------------------------------------|
| 成形法    | 成形铣刀 | 模数铣刀 | 铣床  | 加工精度和生产率均较低，精度等级为IT9以下                                    |
|        | 拉齿   | 齿轮拉刀 | 拉床  | 加工精度和生产率均较高，拉刀多为专用工具，结构复杂，制造成本高，适用于大批生产，宜于拉内齿轮            |
| 展成法    | 滚齿   | 齿轮滚刀 | 滚齿机 | 一般精度等级为IT10~IT6，最高达IT4，生产率较高，通用性好，常用于加工直齿齿轮、斜齿的外啮合圆柱齿轮和蜗轮 |
|        | 插齿   | 插齿刀  | 插齿机 | 一般精度等级为IT9~IT7，最高达IT6，生产率较高，通用性好，常用于加工内外啮合齿轮、扇形齿轮、齿条等     |
|        | 剃齿   | 剃齿刀  | 剃齿机 | 一般精度等级为IT7~IT5，生产率较高，用于齿轮滚、插、预加工后、淬火前的精加工                 |
|        | 磨齿   | 砂轮   | 磨齿机 | 一般精度等级为IT7~IT3，生产率较低，加工成本较高。大多数用于淬硬齿形后的精加工                |
|        | 珩齿   | 珩磨轮  | 珩磨机 | 一般精度等级为IT7~IT6，多用于经过剃齿和高频淬火后齿形的精加工                        |

1. 成形法

(1) 刀具成形法是利用与被加工齿轮的齿槽形状一致的刀具，在齿坯上加工出齿面的方法。常用的成形齿轮刀具具有盘形齿轮铣刀和指状齿轮铣刀。后者适于加工大模数的直齿、斜齿齿轮，特别是人字齿轮。图 8—40a 所示的刀具为盘形齿轮铣刀，用这种铣刀铣削齿轮时，齿轮的齿廓精度是由铣刀切削刃形状来保证的。渐开线齿廓是由齿轮的模数和齿数来决定的，所以，齿轮的模数和齿数不同，渐开线齿廓也就不一样。因此，要加工出准确的渐开线齿廓，每一个模数，每一种齿数的齿轮，就要相应地用一种形状的铣刀，这样显然在生产管理上既不经济又不方便。在实际生产中，是将同一模数的齿轮，按其齿数分为 8 组(精确的分 15 组)，每一组只用一把铣刀。盘形齿轮铣刀刀号见表 8—19。例如模数  $m=2\text{ mm}$  的齿轮有 8 个铣刀， $m=3\text{ mm}$  的齿轮有 8 个铣刀，依此类推，如果齿轮的模数是  $3\text{ mm}$ ，齿数是 28，则应用  $m=3\text{ mm}$  的齿轮铣刀中的 5 号来加工。

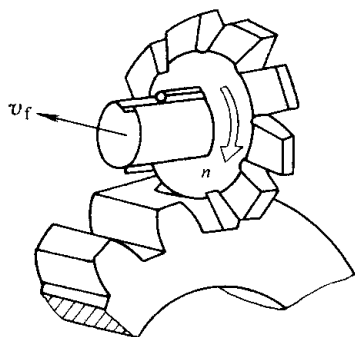
表 8—19 盘形齿轮铣刀刀号

| 刀号     | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7      | 8     |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 加工齿数范围 | 12~13 | 14~16 | 17~20 | 21~25 | 26~34 | 35~54 | 55~134 | 135以上 |

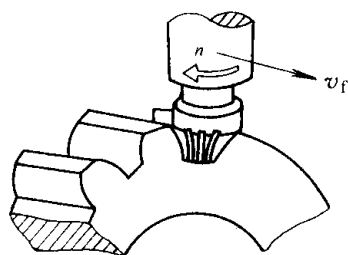
标准齿轮铣刀模数、压力角和加工的齿数范围都标记在铣刀端面上。由于每一种编号的刀齿形状均按加工齿数范围中最少齿数设计，因此，加工该范围内的其他齿数的齿轮时，就会产生一定的误差。盘状齿轮的铣刀适于加工  $m \leq 8 \text{ mm}$  的齿轮。

(2) 机床用成形法加工齿轮一般在普通铣床上进行，如图 8—40 所示。铣削斜齿圆柱齿轮必须在万能铣床上进行。

(3) 工件的安装铣削时，工件安装在分度头上，铣刀旋转对工件进行切削加工，工作台作直线送进运动，加工完一个齿槽，分度头将工件转过  $360^\circ/z$  ( $z$  为齿数)，再加工另一齿槽，依次加工出所有齿槽。当加工模数大于  $8 \text{ mm}$  的齿轮时，采用指状齿轮铣刀铣削加工，如图 8-40b 所示。



(a) 盘形齿轮铣刀铣削



(b) 指状齿轮铣刀铣削

图 8—40 直齿圆柱齿轮的成形铣削

### 2. 展成法

展成法是利用一对齿轮啮合或齿轮与齿条啮合的原理，将其中的齿条或一个齿轮做成刀具，另一件是工件，在啮合过程中加工齿形的方法。详细内容将在以下滚齿中讲述。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                            |
|--------|--------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                 |
| 课    题 | 齿形加工（一）                                    |
| 教    者 | 黄    曙                                     |
| 教案序号   | 第    44    教案                              |
| 教学目的   | 1、了解铣齿加工方法<br>2、掌握滚齿加工常用方法<br>3、           |
| 重点难点   | 1、铣齿加工<br>2、滚齿原理<br>3、滚齿的基本运动<br>4、滚刀的安装方法 |
| 作    业 | 1、P242. 10<br>2、P242. 11                   |
| 复    习 |                                            |
| 导    入 |                                            |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生观看视频                           |

## 二、齿形加工

### (一) 铣齿

图 8—40 所示在卧式或立式铣床上用盘形齿轮铣刀或指状齿轮铣刀加工齿形，是成形法加工齿轮中应用较为广泛的一种。加工时，将齿坯安装在分度头上，铣完一个齿槽后再用分度头分齿，再铣完另一个齿槽，依次铣完所有齿槽。齿形由齿轮铣刀的切削刃形状来保证，轮齿分布的均匀性由分度头来保证。

铣齿加工的生产率和加工精度都比较低，通常能加工 IT9 级以下的齿轮，使用的是普通铣床，刀具也容易制造，所以多用于单件小批生产或修配加工低精度的齿轮。

### (二) 滚齿

#### 1. 滚齿原理

滚齿加工是按照展成法的原理来加工齿轮的。用滚刀来加工齿轮相当于一对交错轴斜齿轮啮合。在这对啮合的齿轮传动中，一个齿轮的齿数很少，只有一个或几个，螺旋角很大，这就演变成了一个蜗杆，再将蜗杆开槽并铲背，就成为齿轮滚刀。在齿轮滚刀螺旋线法向剖面内各刀齿成了一根齿条，当滚刀连续转动时，相当于一根无限长的齿条沿刀具轴向连续移动。因此在滚齿过程中，在滚刀按给定的切削速度作旋转运动时，齿坯则按齿轮齿条啮合关系转动（即当滚刀转一圈，相当于齿条移动一个或几个齿距，齿坯也相应转过一个或几个齿距），在齿坯上切出齿槽，形成渐开线齿面，如图 8—41a 所示。渐开线齿廓则由切削刃一系列瞬时位置包络而成，如图 8—41b 所示。

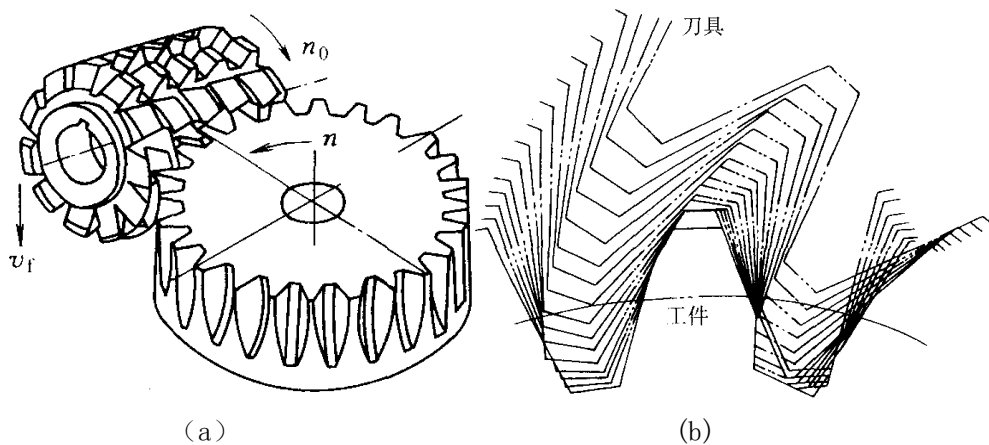


图 8—41 滚齿原理(滚刀与被切齿轮的展成运动)

滚刀的法向模数和齿形角必须与被加工齿轮的法向模数和齿形角相等。

#### 2. 滚齿的基本运动

滚切直齿圆柱齿轮时，滚齿机（图 8-42）要完成以下几种运动。

(1) 主运动 滚刀的旋转运动为主运动，根据合理的切削速度和滚刀直径，即可以决定其转速大小，其单位  $r/min$ 。

(2) 展成运动(分齿运动) 展成运动即工件相对于滚刀所作的啮合对滚运动。滚刀与工件之间必须准确地保持一对啮合齿轮的传动比关系。设滚刀头数为  $K$ ，工件齿数为  $Z$ ，则每当滚刀转一转时，工件应转  $K/z$  转。

(3) 垂直进给运动

垂直进给运动即滚刀沿工件轴线方向作连续的进给运动，以形成直线的运动轨迹，从而在工件上切出整个齿宽的齿形。

滚螺旋齿圆柱齿轮时，除加工直齿圆柱齿轮所需的三个运动外，为了形成螺旋线的运动轨迹，必须给工件一个附加运动。这个附加运动就像卧式车床切削螺纹一样，当刀具沿工件轴线进给等于螺旋线的一个导程时，工件应转一转。

当滚刀旋转时，其螺旋线法向的切削刃就相当于一个齿条在连续地移动。当齿条的移动速度和齿轮分度圆上的圆周速度相等，即相当于被切齿轮的分度圆沿齿条分度线作无滑动的纯滚动时，根据齿轮啮合原理即可在被切齿轮上切出渐开线齿形，滚刀再作垂直进给运动，如图 8—41a 所示，即能完成整个齿形的加工。因此，滚齿时必须使滚刀的转速和齿坯的转速之间严格地保持如下关系

$$n_0 / n = Z / k$$

式中： $n_0$ ——滚刀转速， $r/min$ ；

$n$ ——工件转速， $r/min$ ；

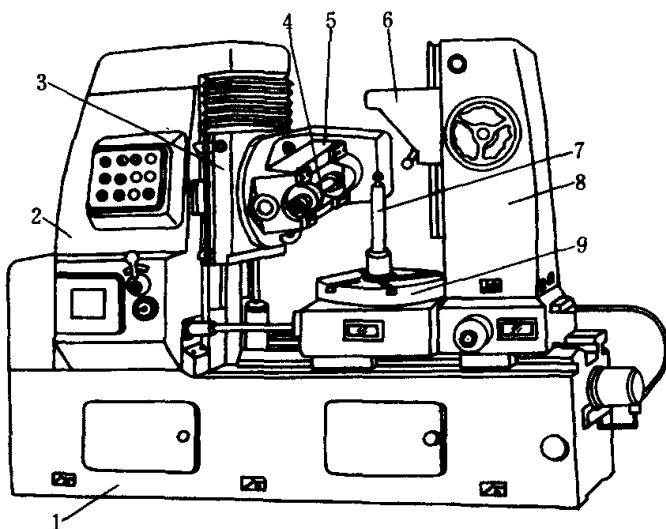
$z$ ——工件齿数；

$k$ ——滚刀的头数。

滚齿时除了滚刀的旋转运动(主运动)、滚刀与齿坯之间的展成运动(也就是连续分齿运动)外，滚刀还需有沿工件轴向(齿宽方向)的进给运动，这三个运动构成了滚齿的基本运动，如图 8—41a 所示。

### 3. 滚刀的安装方法

滚齿时还必须使滚刀的齿向与被加工齿轮的齿向一致，所以安装滚刀时，必须有一定的安装角度  $\delta$ ，如图 8—43 所示。



1-床身 2-立柱 3-刀具滑板 4-滚刀杆 5-滚刀架 6-后支架  
7-工件心轴 8-后立柱 9-工作台

图 8—42 Y3150E 型滚齿机外形图

滚切直齿圆柱齿轮时，滚刀的安装角  $\delta = \gamma$  ( $\gamma$  为滚刀的导程角)，其滚刀倾斜方向如图 8—43a 所示。

滚切斜齿圆柱齿轮时，若滚刀与齿坯螺旋方向相同，则滚刀的安装角  $\delta = \beta - \gamma$ ，( $\beta$  为齿坯螺旋角)；若滚刀与齿坯螺旋方向相反，则滚刀的安装角  $\delta = \beta + \gamma$ 。其倾斜方向如图 8—43b 所示。

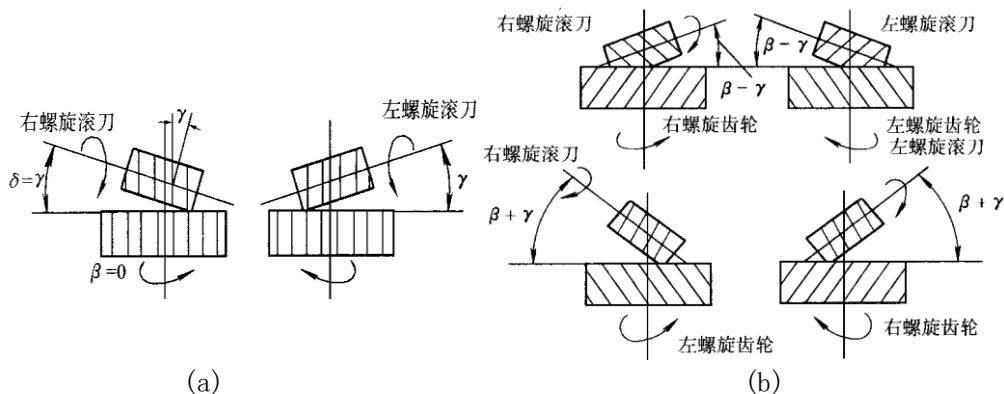


图 8—43 滚刀的安装角度

#### 4. 滚齿的精度

滚刀的精度等级为 AA 级、A 级、B 级和 C 级，AA 级精度最高可加工 6~7 级的齿轮，A 级可加工 7~8 级齿轮，B 级可加工 8~9 级齿轮，C 级可加工 9~10 级齿轮。滚齿时，为了提高齿面的加工精度和质量，应将粗、精滚齿加工分开。精滚齿的加工余量为 0.5~1 mm，精滚齿时应采取较高的切削速度和较小的进给量。

#### 5. 滚齿的工装及生产率

目前，生产中广泛采用的是高速钢滚刀，切削速度一般为 30 m/min 左右，进给量为 1~3 mm/r。超硬高速钢滚刀出现后，切削速度提高到了 60~70 m/min；滚刀刀齿采用硬质合金后，其切削速度又提高到了 180~200 m/min，使滚齿加工的生产率得到了大幅度提高。此外，硬质合金滚刀对淬火后的硬齿面齿轮还可进行精加工或半精加工。

滚齿既可以用于齿形的粗加工，也可以用于精加工。加工精度等级为 IT7 以上的齿轮时，滚齿通常作为剃齿或磨齿等齿形精加工前的粗加工和半精加工工序。

滚齿加工所使用的滚刀和滚齿机结构比较简单，易于制造，加工时是连续切削的，具有质量好，效率高的优点，因此，在生产中广泛应用。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                      |
|--------|--------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                           |
| 课    题 | 齿形加工（二）                              |
| 教    者 | 黄    曙                               |
| 教案序号   | 第    45    教案                        |
| 教学目的   | 1、主要掌握插齿加工方法<br>2、                   |
| 重点难点   | 1、插齿加工原理<br>2、插齿机的组成与运动<br>3、插齿的加工范围 |
| 作    业 | 1、P242. 12<br>2、                     |
| 复    习 |                                      |
| 导    入 |                                      |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生加工视频                     |

### (三)插齿

#### 1. 插齿加工原理

插齿机是按展成法原理加工齿轮的，如图 8—44a。以一对相互啮合的直齿圆柱齿轮传动为基础，将其中一个齿轮的端面上磨出前角，齿顶和齿侧磨出后角，使之成为一个有切削刃的插齿刀。插齿时，插齿刀沿工件轴向作直线往复运动，则切削刃在空间形成一铲形齿轮。这铲形齿轮与工件作无间隙啮合运动(展成运动)。插齿刀每往复一次，在轮坯上切出齿槽的一小部分，配合着两者的展成运动，便依次切出齿轮的全部渐开线齿廓。

齿轮的齿形是由插齿刀齿形(即刀口)多个连续位置包络而成，见图 8—44b。

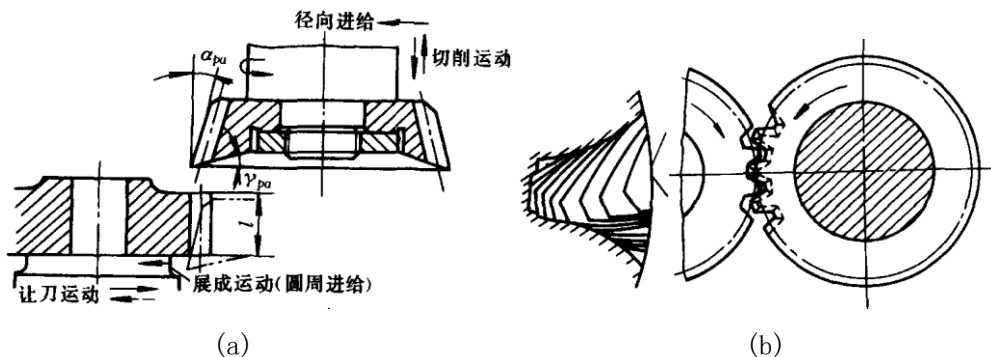
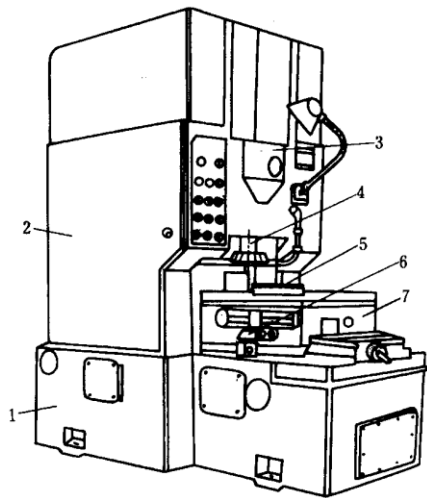


图 8—44 插齿加工原理



1-床身 2-立柱 3-刀架座 4-主轴 5-工作台 6-挡块支架 7-工作台溜板

图 8—45 Y5132 插齿机外形图

#### 2. 插齿机的组成与运动

##### (1). Y5132 型插齿机主要组成部件

Y5132 型插齿机多用于加工直齿圆柱齿轮，尤其适用于加工内齿轮和多联齿轮。机床的主要技术参数为加工齿轮的最大直径 320mm。

如图 8—45 所示, Y5132 型插齿机由床身 1、立柱 2、刀架座 3、插齿刀主轴 4、工作台 5、工作台溜板 7 等组成。插齿刀安装于刀架座的主轴上, 作直线往复运动和圆周进给运动, 调整挡块支架 6 的径向进给挡块并配合液压传动装置, 可进行一次、二次、三次径向送进运动的自动控制。

### (2). 插齿机运动

加工直齿圆柱齿轮时, 插齿机应具有如下运动:

①主运动 插齿刀上下往复运动为主运动, 以每分钟往复次数  $n$  表示, 单位为次 / min。

②圆周进给运动 圆周进给运动是插齿刀绕自身轴线的旋转运动, 其旋转速度的快慢直接关系到插齿刀的切削负荷、被加工齿轮的表面质量、机床生产率和插齿刀的使用寿命。圆周进给量以插齿刀每往复行程一次, 插齿刀转过的分度圆弧长来表示, 单位为 mm / 往复一次。

③展成运动 展成运动即工件与插齿刀所作的啮合旋转运动。当插齿刀转一个齿(即  $1/Z_{\text{插}}$  转)时, 工件应严格地也转一个齿(即  $1/Z_{\text{工}}$  转), 以保证一对齿轮啮合运动的运动关系。

④径向进给运动 径向进给运动就是工件逐渐地向插齿刀作径向送进, 直至插齿刀切至齿全深后, 工件再回转一整转, 便加工出全部完整的齿形。径向进给量是以插齿刀每次往复行程中工件径向进给的距离来表示, 其单位为 mm / 每往复一次。

⑤让刀运动 插齿时, 插齿刀向下直线运动进行切削, 为加工行程; 向上直线运动不进行切削, 为空行程。为了避免插齿刀在回程时擦伤工件已加工表面, 减少刀具磨损, 刀具和工件之间应让开一小段距离(一般为 0.5mm 的间隙); 而在插齿刀加工行程之前, 又迅速恢复到原位, 以使刀具继续切削工件。这种让开和恢复原位的运动称为让刀运动。Y5132 型插齿机的让刀运动, 由刀具主轴座的摆动来实现。

### 3. 插齿的加工范围

插齿不仅能加工单齿圈圆柱齿轮, 还能加工间距较小的双联或多联齿轮、内齿轮及齿条等。它的加工范围比铣齿和滚齿要广。插齿时还能控制圆周进给量, 可在 0.2~0.5 mm / 双行程范围内选用, 较小值一般用于精加工, 较大值一般用于粗加工。

### 4. 插齿的加工精度

插刀精度分为 AA 级、A 级和 B 级, 插齿时使用不同的刀具可分别加工出 IT6~IT8 级精度的齿轮, 齿轮表面粗糙度值  $R_a$  为 1.6~0.4  $\mu\text{m}$ 。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                  |
|--------|--------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                       |
| 课    题 | 齿形加工（三）                                          |
| 教    者 | 黄    曙                                           |
| 教案序号   | 第    46    教案                                    |
| 教学目的   | 1、了解剃齿加工方法<br>2、了解珩齿加工方法<br>3、                   |
| 重点难点   | 1、剃齿的基本原理、基本运动、加工方法<br>2、珩齿的基本原理、基本运动、加工方法<br>3、 |
| 作    业 | 1、观看加工视频<br>2、                                   |
| 复    习 |                                                  |
| 导    入 |                                                  |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生观看加工视频                               |

#### (四) 剃齿

##### 1. 基本原理

剃齿是利用一对交错斜轴齿轮啮合时齿面产生相对滑移的原理，使用剃齿刀从被加工齿轮的齿面上剃去一层很薄金属的精加工方法。剃削直齿圆柱齿轮时，要用斜齿剃齿刀，使剃齿刀和被加工齿轮的轴线成  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$  的交叉角。有了轴交叉角，在啮合运动中齿面上便有相对滑移存在，这相对滑移就是剃齿时的切削运动。

##### 2. 基本运动

剃齿时，应先将被加工齿轮装在心轴上，再连心轴一起安装到机床工作台的两顶尖间，使其可以自由转动，如图 8—46 所示。剃齿具有以下几个运动：

(1) 装在机床主轴上的剃齿刀作高速正、反转动；被切齿轮由剃齿刀带动作正、反自由旋转。

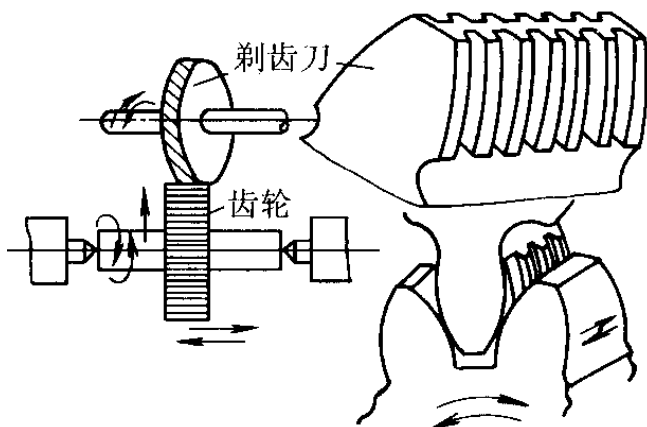


图 8—46 在剃齿机上剃齿

(2) 被切齿轮由剃齿刀带动沿轴向作往复运动，也就是说齿轮的齿侧面沿剃齿刀的齿侧面作相对滑移。因剃齿刀的齿侧面上有许多小槽，槽与齿面的交棱就是切削刃，所以齿轮的齿侧面沿它的滑移时就被切去极细的切屑。在剃齿刀和被切齿轮进入啮合的齿面时，是从齿顶向着齿根，在脱开啮合的齿面时，是从齿根向着齿顶。

(3) 被切齿轮往复运动一次，剃齿刀就作一次径向进给运动，以逐渐剃除全部余量，从而获得要求的齿厚。

##### 3. 加工范围及生产率

剃齿的加工范围较广，可加工内、外啮合的直齿圆柱齿轮和斜齿圆柱齿轮、多联齿轮等。剃齿的生产率很高，加工一个中等模数齿轮通常只需  $2 \sim 4$  min。

##### 4. 加工精度

由于剃齿能修正齿圈径向跳动误差、齿距误差、齿形误差和齿向误差等。因此，经过剃齿的齿轮的工作平稳性精度和接触精度会有较大的提高，一般能提高一级；同时可获得较精细的表面，其表面粗糙度值  $R_a$  可达  $0.8 \sim 0.4 \mu m$ ，但齿轮的运动精度提高不多。

剃齿前的齿坯，除运动精度外，其它精度和表面粗糙度只能比剃齿后低一级。剃齿余量的大小要适当。因为余量不足时，剃齿前的齿轮的误差和齿面缺陷就不能经过剃齿全部去除；余量过大时，剃齿效率低，刀具磨损快，剃齿质量反而下降。剃齿余量的大小，可参考表 8—20，并根据剃齿前的齿轮的精度状况尽可能选取较小的数值。

表 8-20 剃齿余量

|           |        |      |        |      |       |
|-----------|--------|------|--------|------|-------|
| 模数 / mm   | 1~1.75 | 2~3  | 3.25~4 | 4~5  | 5.5~6 |
| 剃齿余量 / mm | 0.07   | 0.08 | 0.09   | 0.10 | 0.11  |

剃齿加工采用的是自由啮合的方法，并不需要严格的传动链，大大简化了剃齿机机构，调整也简便，刀具寿命长，因此，剃齿工艺在成批和大量生产中被广泛应用。

剃齿刀分通用和专用两类。无特殊要求时，应尽量选用通用剃齿刀。剃齿刀的制造精度分 A、B、c 三级，可分别加工出 IT8~IT6 级精度的齿轮。剃齿刀的螺旋角有 5°、10° 和 15° 三种，其中 5° 和 15° 两种应用较广，15° 的多用于加工直齿圆柱齿轮，5° 的多用于加工斜齿圆柱齿轮和多联齿轮中较小的齿轮。

(五) 珩齿

珩磨是一种齿面光整加工的方法，其工作原理与剃齿相同，都是应用交错轴斜齿轮啮合原理进行加工的，所不同的是以珩磨轮代替了剃齿刀。珩磨轮是将磨料和粘结剂等原料混合后，在轮芯（铸铁或钢材）上浇铸而成的螺旋齿轮，如图 8—47 所示。珩磨齿面上不做出容屑槽，只是靠磨粒本身进行研削加工。

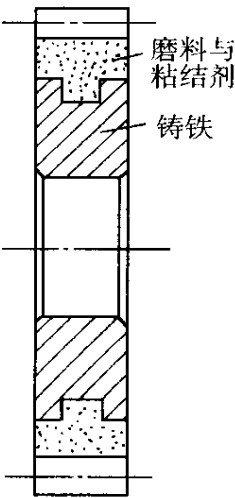


图 8—47 珩磨轮

珩齿时，珩磨轮与被加工齿轮的轮齿之间无侧隙紧密啮合，在一定的压力作用下，由珩磨轮带动被加工齿轮正反向转动，同时被加工齿轮沿轴向往复送进运动。被加工齿轮即工作台每往复一次，从而加工出齿轮的全长和两侧面。

珩齿开始时齿面压力较大，随后压力逐渐减小，接近消失时珩齿加工就结束。珩齿余量一般很小，通常为 0.01~0.02 mm。实际上也可不留余量，剃齿时只要达到齿后尺寸上限即可。珩磨时要使用切削液，钢和铸件多用煤油，精度要求高时加 20%~30% 锭子油。

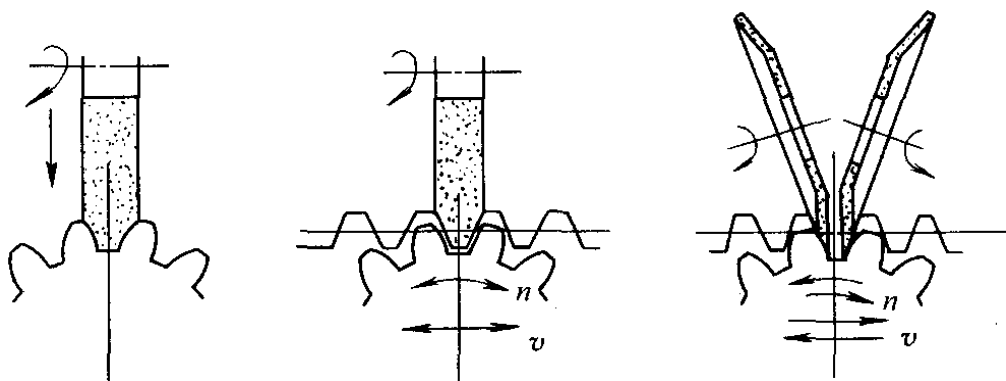
珩磨轮齿面上分布着许多磨粒，各磨粒之间以粘结剂（还氧树脂）相隔，粘结剂的弹性大，珩磨轮本身的误差不会反映到被珩齿轮上去，因而珩磨轮的精度就不必要求很高。经浇铸成形后的 8 级以下精度的珩磨轮，就可以直接使用。因此珩齿过程的本质就是低速磨削、研磨和抛光的综合。珩磨轮转速一般在 1 000 r / min 以上，生产率很高，珩磨一个齿轮约需 1min。珩齿加工精度可达 IT6 级，并能有效地减小齿面表面粗糙度值，Ra 为 0.8~0.4 μm，减小齿圈径向跳动，还能在一定程度上纠正齿向和齿形的局部误差。因此，珩齿对于提高齿轮工作的平稳性、改善接触精度和减少噪声等极为有利，目前在生产中正逐渐以珩齿代替研齿。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                    |
|--------|------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                         |
| 课    题 | 齿形加工（四）                            |
| 教    者 | 黄    曙                             |
| 教案序号   | 第  47  教案                          |
| 教学目的   | 1、主要了解磨齿加工方法<br>2、常用齿形加工工艺方案<br>3、 |
| 重点难点   | 1、成形法磨齿<br>2、常用齿形加工工艺方案<br>3、      |
| 作    业 | 1、P242.13<br>2、                    |
| 复    习 |                                    |
| 导    入 |                                    |
| 后    记 | 安排实训课，在指导下学生加工视频                   |

## (六) 磨齿

按照齿轮加工的原理，磨齿也分为成形法和展成法两类，如图 8—48 所示。



(a) 用成形砂轮磨齿 (b) 用双锥面砂轮磨齿 (c) 用双叶片碟形砂轮磨齿

图 8—48 磨齿加工原理示意图

图 8—48a 所示为成形法磨齿，砂轮的两侧面做成被磨齿轮的齿槽形状，用成形砂轮直接磨出渐开线齿形。由于砂轮与被磨齿轮齿面之间接触面积大，故生产效率高。但采用这种方法需要修整砂轮的渐开线表面的专门机构，而且磨削面积大，砂轮磨损不均匀，容易烧伤齿面，加工精度也低，因此成形法磨齿应用不多。

图 8—48b、c 所示是应用展成法原理进行磨齿的两种方法，并且都是利用齿轮齿条的啮合原理进行的。

图 8—48b 所示是双锥面砂轮磨齿，其砂轮截面呈锥形，相当于假想齿条的一个齿。磨齿时，砂轮一面旋转，一面沿齿向作快速往复运动；展成运动是通过被磨齿轮的旋转( $n$ )和相应的移动( $v$ )来实现的。在磨削过程中，先后磨出一个齿槽的两个侧面，然后被磨齿轮与砂轮快速离开进行分度，以便进行下一个齿的磨削。按照这种磨齿原理，我国生产的磨齿机有 Y7131 等。由于砂轮修整和分齿运动精度较低，故多用于加工 IT6 级以下的直齿圆柱齿轮。

图 8—48c 所示是双叶片碟形砂轮磨齿，两片碟形砂轮倾斜安装后，即构成假想齿条的两个侧面，砂轮的端平面便代表齿条的表面，并且主要是靠砂轮端平面上的—条 0.5 mm 的环行窄边进行磨削的。磨齿时，砂轮只在原来位置旋转，展成运动是由被磨齿轮水平面内的往复运动( $v$ )和相应的转动( $n$ )来实现的；同时被磨齿轮还沿轴线方向作慢速进给移动，以磨削齿宽方向的齿面。一个齿槽的两个侧面磨完后，工件即快速退离砂轮，然后进行分度，以便对另一个齿槽的两个侧面进行磨齿。它的加工精度不低于 IT5 级，是目前磨齿方法中加工精度较高的一种。

磨齿是精加工精密齿轮，尤其是加工淬硬精密齿轮的最常用方法，经过磨齿精度为 IT7~ IT3 级，齿面粗糙度值  $R_a$  为 0.8~0.2  $\mu\text{m}$ 。

## (七) 齿形加工工艺方案

齿轮齿形加工工艺方案，见表 8—21。



## 沅江市职业中专机械加工技术教案

例 图 8—49 所示为一直齿圆柱齿轮零件图,其具体的加工工艺过程见表 8—22。

表 8—22 齿轮加工工艺过程

| 序 号 | 工 序 内 容 及 要 求                                                                                                                                                                    | 定 位 基 准  | 设 备    |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|
| 1   | 锻造                                                                                                                                                                               |          |        |
| 2   | 正火                                                                                                                                                                               |          |        |
| 3   | 粗车各部, 均留余量1.5 mm                                                                                                                                                                 | 外圆、端面    | 转塔车床   |
| 4   | 精车各部, 内孔至锥孔塞规刻线外露6~8 mm其余照图                                                                                                                                                      | 外圆、内孔、端面 | C616车床 |
| 5   | 滚齿 $F_w=0.036\text{ mm}$ , $F''_i=0.10\text{ mm}$ , $f''_i=0.022\text{ mm}$ ,<br>$F_\beta=0.011\text{ mm}$ , $W=80.84_{-0.19}^{-0.14}\text{ mm}$ , 齿面 $Ra2.5\text{ }\mu\text{m}$ | 内孔、B端面   | Y38滚齿机 |
| 6   | 倒角                                                                                                                                                                               | 内孔、B端面   | 倒角机    |
| 7   | 插键槽达图样要求                                                                                                                                                                         | 外圆、B端面   | 插床     |
| 8   | 去毛刺                                                                                                                                                                              |          |        |
| 9   | 剃齿                                                                                                                                                                               | 内孔、B端面   | Y5714  |
| 10  | 热处理: 齿部5132                                                                                                                                                                      |          |        |
| 11  | 磨内锥孔, 磨至锥孔塞规小端平                                                                                                                                                                  | 外圆、B端面   | M220   |
| 12  | 珩齿达图样要求                                                                                                                                                                          | 内孔、B端面   | Y5714  |
| 13  | 终结检验                                                                                                                                                                             |          |        |

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                           |
|--------|-------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                |
| 课    题 | 装配的内容及形式                                  |
| 教    者 | 黄    曙                                    |
| 教案序号   | 第  48  教案                                 |
| 教学目的   | 1、了解装配的基本概念<br>2、掌握装配工作的基本内容<br>3、掌握装配的形式 |
| 重点难点   | 1、装配的基本概念<br>2、装配工作的基本内容<br>3、固定式、移动式装配   |
| 作    业 | 1、P254.1<br>2、P254.2                      |
| 复    习 |                                           |
| 导    入 |                                           |
| 后    记 |                                           |

## 第九章 装配工艺基础

### 第一节 概 述

#### 一、装配的基本概念

装配就是把加工好的零件按一定的顺序和技术要求连接到一起，成为一部完整的机器（或产品），它必须可靠地实现机器（或产品）设计的功能。将若干个零件装配成部件的过程称部件装配；把零件和部件装配成最终产品称为总装配。

装配工艺不仅是制造机器所必需的最后阶段，也是对机器的设计思想、零件的加工质量和机器装配质量的总检验。

#### 二、装配工作的基本内容

##### 1. 清洗

为了保证产品的质量和延长使用寿命，装配前要进行清洗，去除零件上的灰尘、切削和油污。

常用的方法有擦洗、浸洗、喷洗等。

常用的清洗液有煤油、汽油、碱液及化学清洗液等。

##### 2. 连接

装配中有大量的连接工作。连接的方式一般有两种：可拆连接和不可拆连接。

(1)可拆连接的特点是相互连接的零件拆卸时不损坏任何零件，且拆卸后能重新装配，常见的有螺纹连接、键连接、销钉连接等。

(2)不可拆连接的特点是零件相互连接后不可拆卸，若要拆卸则会损坏某些零件，常见的有焊接、铆接和过盈连接等。过盈连接大多应用于轴、孔的配合，可使用压入法、热胀法和冷缩配合法实现。

##### 3. 校正、调整与配作

为了保证部装和总装的精度，在单件小批生产条件下，完全靠零件互换来保证装配精度往往是不经济的，有时甚至是不可能的，常需进行校正、调整和配作工作。

(1)校正是指产品中相关零部件相互位置的找正、找平，并通过各种调整方法达到装配精度。校正时必须重视基准，校正的基准面力求和加工、装配基准面相一致。

(2)调整是指相关零部件相互位置的具体调整工作。通过相关零部件位置的调整来保证其位置精度或某些运动副的间隙。

(3)配作是指装配时制作，通常指配钻、配铰、配刮和配磨等，这是装配中附加的一些钳工和机械加工工作，应与校正、调整工作结合进行，因为只有经过校正、调整后，才能进行配作。

##### 4. 平衡

对于转速高、运转平稳性要求高的机器，为了防止使用中出现振动，在装配时，须对有关的零部件进行平衡工作。平衡的方法有静平衡和动平衡。

校正不平衡件的方法：

(1)用补焊、铆接、胶接或螺纹连接等方法加配质量；

(2)用钻、铣等加工方法去除质量；

(3)改变平衡块的位置和数量。

#### 5. 验收试验

机械产品装配完成后，要根据有关技术标准及规定的技术要求，对产品进行全面的检验和必要的实验，合格后才准许出厂。

金属切削机床验收试验工作通常包括：机床几何精度的检验、空运转试验、负荷试验和工作精度试验等。

## 第二节 装配的形式

在装配过程中，可根据产品结构的特点和批量大小的不同，采用不同的装配组织形式。通常有固定式装配和移动式装配两类。

### 一、固定式装配

产品的装配固定在一个或几个组内完成，装配时工作地不变，产品位置也不变。

#### 1. 集中装配

部装和总装均由一个工人或一组工人在一个工作地完成。此类装配对工人技术水平要求高，装配周期长，适于装配精度较高的单件小批生产或修理业的装配工作。

#### 2. 分散装配

即把产品分为部装和总装，分配给若干个人或小组以平行作业形式完成。工人密度大、生产周期短、效率高，多用于成批专业化生产或较复杂的大型机器的装配。

固定式装配的特点是产品装配周期长，占用生产面积大，要求工人技术水平较高，适于中小批以下生产，或质量、体积较大，装配时不便移动的重型机器。

### 二、移动式装配

被装配产品用连续或间歇传送的工具运载，依次经过各装配点以完成全部装配工作的一种组织形式。每个装配点的工人只完成一定工序的装配任务，全部装配由各工序依次完成。

#### 1. 自由移动装配

产品以自主节奏、间歇移动方式进行装配，适于修配、调整量较多的装配。

#### 2. 强制移动装配

装配时产品以一定的速度连续移动进行装配。每道工序都必须在规定的时间内完成，否则，整个装配工作将无法正常工作。

移动式装配的特点是装配过程划分得较细，每个工作地点重复完成固定的工序，有利于采用高效率工装和设备确保质量，对工人技术水平要求不高，工人劳动强度大，适用于大量生产。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                                 |
|--------|-----------------------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                                      |
| 课    题 | 装配精度、装配尺寸链                                                      |
| 教    者 | 黄    曙                                                          |
| 教案序号   | 第    49    教案                                                   |
| 教学目的   | 1、了解装配精度的概念<br>2、理解装配精度与零件精度间的关系<br>3、了解装配尺寸链<br>4、掌握建立装配尺寸链的方法 |
| 重点难点   | 1、装配精度与零件精度间的关系<br>2、建立装配尺寸链的方法<br>3、                           |
| 作    业 | 1、P254.3<br>2、P254.4<br>3、P254.5                                |
| 复    习 |                                                                 |
| 导    入 |                                                                 |
| 后    记 |                                                                 |

### 第三节 装配精度

#### 一、装配精度的概念

装配精度是产品设计时根据使用性能规定的、装配时必须达到的质量指标。国家有关部门对各类通用机械产品都制定了相应的精度标准。

产品的装配精度，即装配后实际达到的精度一般包括：零部件间的尺寸精度、位置精度、相对运动精度和接触精度。

##### 1. 尺寸精度

零部件间的尺寸精度包括距离精度和配合精度。距离精度是零部件之间的相对距离尺寸要求，配合精度是配合面间的间隙或过盈要求。

##### 2. 位置精度

零部件间位置精度包括平行度、垂直度、同轴度及各种跳动等。

##### 3. 相对运动精度

相对运动精度是指相对运动的零部件间在运动方向和相对速度上的精度。

##### 4. 接触精度

接触精度常以接触面积大小及接触点的分布来衡量。

#### 二、装配精度与零件精度间的关系

机器及其部件由零件组成，因此零件的精度特别是关键零件的加工精度，对装配精度有直接的影响。例如卧式车床尾座移动对滑板移动的平行度，就主要取决床身滑板移动导轨与尾座移动导轨的平行度(图 9—1)；又如图 9—2 所示的车床主轴锥孔轴心线和尾座套筒锥孔轴心线对滑板移动的等高度  $A_0$ ，即取决于主轴箱、尾座及底板的  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  的尺度精度。

但是，产品的装配精度并不完全靠零件加工精度保证，在装配过程中有时还需要进行修配。例如上述尾座移动对滑板移动的平行度要求，不仅取决于导轨的加工精度，还与滑板、尾座底板和床身导轨间的接触精度有关。为提高接触精度，装配中一般要对滑板及尾座底板进行配刮和配磨。又如图 9—2 所示的床头和尾座两顶尖等高度的要求很高，若仅靠提高尺寸  $A_1$ 、 $A_2$  及  $A_3$  的精度来保证是不经济的。比较合理的方法是装配中通过检测，对某个零件进行适当的修配来保证装配精度。

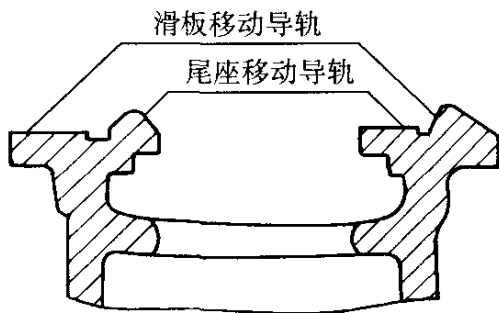
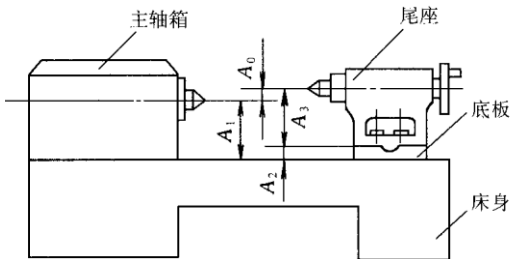


图 9—1 床身导轨简图

若仅靠提高尺寸  $A_1$ 、 $A_2$  及  $A_3$  的精度来保证是不经济的。比较合理的方法是装配中通过检测，对某个零件进行适当的修配来保证装配精度。



综上所述，零件精度是保证装配精度的基础，但装配精度还取决于装配工艺。同一项装配工作，如果装配工艺不同，对各零件精度要求也不同，即

(a) 结构示意图      (b) 装配尺寸链图      使零件精度很高, 若装配工艺不当, 也很难保证装配精度。

图 9—2 床头和尾座两顶尖的等高度要求

## 第四节 装配尺寸链

### 一、装配尺寸链

在机器的装配关系中, 由相关零件的尺寸或相互位置关系所组成的尺寸链, 称为装配尺寸链。装配尺寸链的封闭环就是装配所要保证的装配精度或技术要求。装配精度(封闭环)是零部件装配后才最后形成的尺寸或位置关系。在装配关系中, 对装配精度有直接影响的零、部件的尺寸和位置关系, 都是装配尺寸链的组成环。如同工艺尺寸链一样, 装配尺寸链的组成环也分为增环和减环。

装配尺寸链可分为三种:

#### 1. 线性尺寸链

它由长度尺寸组成, 各环相互平行且在同一平面内, 如图 9—3 所示。

#### 2. 角度尺寸链

它由角度、平行度、垂直度、同轴度等组成, 各环互不平行, 如图 9—4 所示。

#### 3. 平面尺寸链

它由成角度关系布置的长度尺寸构成, 且处于同一或彼此平行的平面内。如图 9—5 所示。

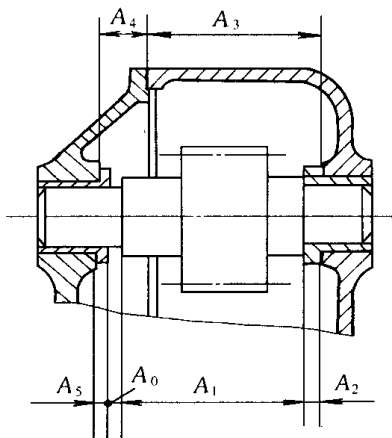


图 9—3 线性尺寸链

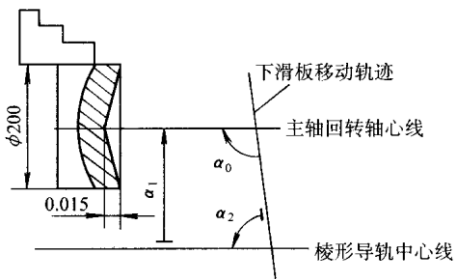


图 9—4 角度尺寸链

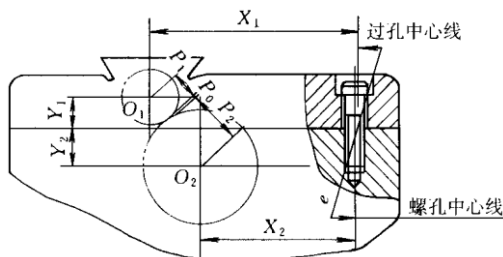


图 9—5 平面尺寸链

### 二、建立装配尺寸链

建立装配尺寸链时, 要分以下几步:

#### 1. 找封闭环

装配精度即封闭环。为了正确地确定封闭环, 必须明确设计人员对整机及部件所提出的装配技术要求。

#### 2. 找各组成环

取封闭环两端的任一个零件为起点, 沿装配精度要求的位置方向, 以装配基准面为查找的线索, 分别找出影响装配精度要求的相关零件(组成环), 直至找到同一

基准零件，甚至是同一基准表面为止。

也可以由封闭环的一端开始，沿着装配精度要求的方向，以相邻零件的装配基准为联系，按顺序逐个找出影响本装配精度的有关零件尺寸，直到封闭环的另一端。包括封闭环在内的封闭尺寸图，即为装配尺寸链图。装配尺寸链具有“一件一环”的原则，即每一有关零件仅能出一个尺寸。当尺寸链上各环不在同一方向时，应将其按空间三个方向分解，分别建立尺寸链，即构成平面或空间尺寸链。

### 3. 按一定层次，不同方向分别建立部件与产品的装配尺寸链

为能清楚地表达产品的装配关系，应分别建立产品总装的尺寸链和部件装配的尺寸链。总装尺寸链以产品精度标准为封闭环，以总装中有关零部件为组成环。部件装配尺寸链以部件装配精度要求为封闭环（总装时为组成环），以有关零件为组成环。

在同一装配结构中，在不同位置方向都有装配精度的要求时，应按不同方向分别建立装配尺寸链。

### 4. 对封闭环影响很小的组成环可忽略不计

建立装配尺寸链时，在保证装配精度的前提下，为简化计算过程，一些对封闭环影响很小的组成环可忽略不计，但精确计算时不可忽略。

### 5. 建立装配尺寸链时，应遵守组成环数最少的原则

这样可使封闭环公差一定时，分配到各有关组成环的公差值大些，便于加工。

如图 9—6a 为车床主轴与尾座中心线等高度的装配尺寸链。图中各组成环含义如下：

- $e_1$ ——主轴锥孔对主轴箱孔的同轴度误差；
- $A_1$ ——主轴箱孔中心线至床身平导轨距离；
- $e_2$ ——床身上安装主轴箱与安装尾座两平导轨之间的高度差；
- $A_2$ ——尾座底板厚度；
- $A_3$ ——尾座孔中心线距尾座底面的距离；
- $e_3$ ——尾座套筒与尾座孔配合间隙引起的向下偏移量；
- $e_4$ ——尾座套筒锥孔与外圆柱面的同轴度误差。

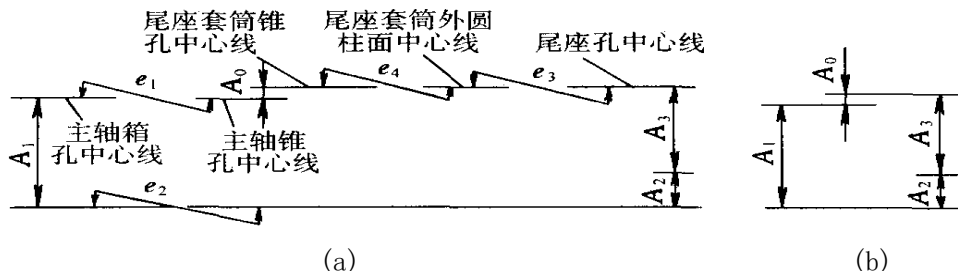


图 9—6 车床主轴与尾座中心线等高度装配尺寸链

根据卧式车床的要求，由于  $e_1$ 、 $e_2$ 、 $e_3$  和  $e_4$  相对  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  的误差是较小的，故尺寸链可简化成图 9—6b 所示，但在精密装配中，不能随意简化。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                               |
|--------|-------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                    |
| 课    题 | 装配方法及其选择                      |
| 教    者 | 黄    曙                        |
| 教案序号   | 第    50    教案                 |
| 教学目的   | 1、掌握装配方法<br>2、熟悉装配方法的选择<br>3、 |
| 重点难点   | 1、互换法<br>2、选配法<br>3、装配方法的选择   |
| 作    业 | 1、P254.6<br>2、P254.7          |
| 复    习 |                               |
| 导    入 |                               |
| 后    记 |                               |

## 第五节 装配方法及其选择

### 一、装配方法

机械的装配首先应当保证装配精度和提高经济效益。相关零件的制造误差必然要累积到封闭环上，构成了封闭环的误差。因此，装配精度越高，则相关零件的精度要求也越高。这对机械加工很不经济的，有时甚至是不可能达到加工要求的。所以，对不同的生产条件，采取适当的装配方法，在不过高的提高相关零件制造精度的情况下来保证装配精度，是装配工艺的首要任务。

在长期的装配实践中，人们根据不同的机械、不同的生产类型条件，创造了许多巧妙的装配工艺方法，归纳起来有：互换装配法、选配装配法、修配装配法和调整装配法四种。现分述如下：

#### 1. 互换法

互换法就是装配过程中，零件互换后仍能达到装配精度要求的一种方法。这时产品的装配精度主要取决于零件的精度。采用互换法在确定零件公差时有两种方法：极值法和概率法。

采用极值法时，由于有关零件公差之和小于或等于装配精度，故装配中零件可以完全互换。即装配时零件不需任何选择、修配或调整，均能达到装配精度的要求，因此称之为“完全互换法”。完全互换法的特点是装配过程简单，生产率高，对工人技术水平要求不高，易于组织流水作业及自动化装配，也便于采用协作方式组织专业化生产。但当装配精度要求高，组成环较多时，零件难以按经济精度加工。此方法适于低精度多环数或高精度少环尺寸链的大批生产中。

采用概率法时，各有关零件公差值平方之和的平方根小于或等于装配精度。从理论上讲，装配中将有  $1/400$  左右的产品，达不到装配精度要求，需要在装配链组成环中更换  $1\sim 2$  个零件，使之达到装配精度。因此称为“不完全互换法”。此方法使组成环公差可扩大  $\sqrt{n-1}$  倍，从而使零件加工容易，成本降低，特别适用于装配节拍不太严格的大批大量生产中。

#### 2. 选配法

当装配精度很高，用互换法装配无法满足要求，即组成环的公差很小而难于加工时，可用选配法。该方法是在经济可行的情况下将组成环的公差放大，然后选择合适的零件进行装配，从而保证规定的装配精度要求。

(1) 直接选配法 这种方法是由工人凭经验从待装配的零件中挑选合适的零件进行装配。该方法的优点是生产组织简单，装配不需要事先分组，装配质量取决于工人的技术水平，但装配效率低，不宜用于节拍要求较严的大批生产。

(2) 分组装配法 这种方法是在成批或大量生产中，将产品中各配合副的零件按实测尺寸分组，装配时按组进行互换装配，以达到装配精度。

采用分组装配，需要注意以下几点：

① 配合件的公差应相等，公差增大时要向同方向增大，增大的倍数就是要分的

组数,这样才能符合原来各组的配合精度和配合性质。

②零件分组后,应保证装配时能够配套,避免某些尺寸的零件积压浪费。

③分组数不宜过多,否则会增加测量、分组、储运工作量,不便于管理。

分组装配多用于封闭环精度要求较高的少环尺寸链。一般组成环只有2~3个,通常用于拖拉机及轴承制造业等大批生产中。

(3)复合选配法 是分组装配法和直接选配法的复合,即零件加工后预先测量分组,装配时在各对应组进行直接选配。这种方法可以达到比较高的装配精度。

### 3. 修配法

修配法是在装配时修去指定零件上预留的修配量以达到装配精度的方法。在装配中,被修配的组成环称为修配环,其零件称为修配件。

#### (1) 修配方法

①单件修配法 在多环尺寸链中,选定某一固定零件作修配件,装配时进行修配以保证精度。此法在生产中操作相对简单,不易出错而被广泛应用。

②合并加工修配法 此方法是将两个或多个零件合并在一起进行加工修配。合并加工所得尺寸可看作一个组成环,这样就减少了组成环的环数,并相应减少了修配量。该方法由于零件要对号入座,不便于生产管理,因此多用于单件小批生产中。

③自身加工修配法 利用机床本身具有切削能力,在装配过程中,将预备在待修配零件表面上的修配量去除,使装配对象达到设计要求的修配精度。

修配法在生产中广泛应用,主要用于成批或单件生产,装配精度要求高的情况下。

(2)修配环选择 修配环选择一般应满足下列要求:

①便于装卸。

②形状简单,修配面小,修配方便。

③一般不取公共环。公共环是指那些同属于几个尺寸链的组成环,它的尺寸变化会引起几个尺寸链中封闭环的变化,增大了修配量。

### 4. 调整法

调整法是在装配时改变产品中可调组件的相对位置或选用合适的调整件以达到装配精度的方法。常见的调整法有三种。

(1)可动调整法 可动调整法是通过改变调节件的位置来保证装配精度的方法。此方法调整方便,应用广泛。图9—7a所示,用调整螺钉使楔块上下移动来调整螺母的轴向间隙;图9—7b为通过螺钉调整轴承间隙。

(2)固定调整法 固定调整法是在装配尺寸链中选定或加入一个零件作为调节环,从而保证装配精度的装配方法。调节环本身是按一定尺寸间隔分级制造的一组零件,装配时可根据需要,选用其中某一级别的零件。常用的调节件有垫圈、垫片、轴套等。如图9—8所示,装配是根据装配尺寸链中A的要求,选择不同厚度的垫圈,来满足装配精度要求。固定调整法适用于成批和大量生产的条件。

(3)误差抵消调整法 误差抵消调整法是利用某些组成环误差的大小和方向,在装配时,合理选择装配方向,使其相互抵消一部分,以提高装配精度的方法。如安

装车床主轴时，可先分别确定主轴前、后轴承引起主轴前端定位面的径向跳动大小

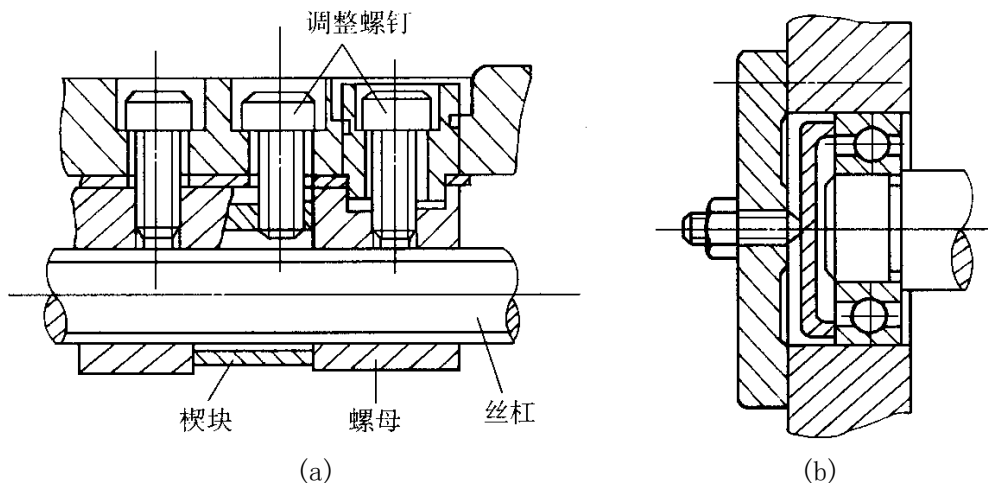


图 9-7 可动调整法应用示例

和方向，然后，调整轴承安装方向，使各自产生的径向跳动方向相反而抵消一部分径向跳动量，从而控制主轴的径向跳动。

## 二、装配方法的选择

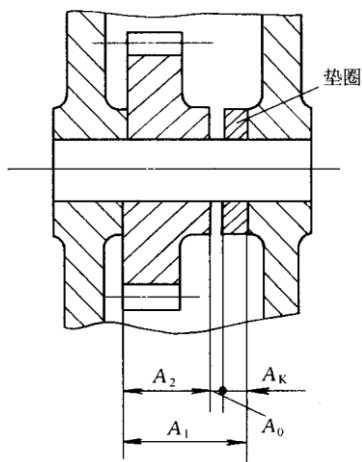


图 9—8 固定调整法示例

产品或部件的装配方法，通常在产品设计阶段即应确定。只有在装配方法确定后，再通过尺寸链的解算，才能合理地确定各个零件的加工精度。在确定装配方法时，应考虑产品的装配精度、结构特点、生产纲领及现场生产条件等因素，具体选择可参考以下几点：

(1) 在大批生产中，为满足生产率、经济性、维修方便和互换性要求，优先选择完全互换法。

(2) 装配精度不太高，而组成环数目多，生产节奏不严格可选用不完全互换法。

(3) 大批大量生产的少环高精度装配，则考虑采用选配法。

(4) 单件小批生产，装配精度要求高，用以上方法使零件加工困难时，可选用修配法或调整法。

沅江市职业中专机械加工技术教案

|        |                                                           |
|--------|-----------------------------------------------------------|
| 课程名称   | 《机械加工技术基础》                                                |
| 课    题 | 典型零部件装配                                                   |
| 教    者 | 黄    曙                                                    |
| 教案序号   | 第    51    教案                                             |
| 教学目的   | 1、了解螺纹连接的方法<br>2、了解过盈连接的方法<br>3、了解轴承装配的方法<br>4、了解密封件装配的方法 |
| 重点难点   | 1、螺纹连接<br>2、过盈连接<br>3、                                    |
| 作    业 | 1、P254.8<br>2、P254.9<br>3、P254.10                         |
| 复    习 |                                                           |
| 导    入 |                                                           |
| 后    记 |                                                           |

## 第六节 典型零部件装配

### 一、螺纹连接

螺纹连接装配时应满足如下要求：

- (1) 连接中不应出现歪斜或弯曲。
- (2) 连接件间要有一定的夹紧力，既紧密牢固，又要受力均匀。
- (3) 在多个螺纹连接中，应按一定的顺序逐次(一般为 2~3 次)拧紧螺母，如图 9—9 所示。若有定位销，拧紧要从定位销附近开始。

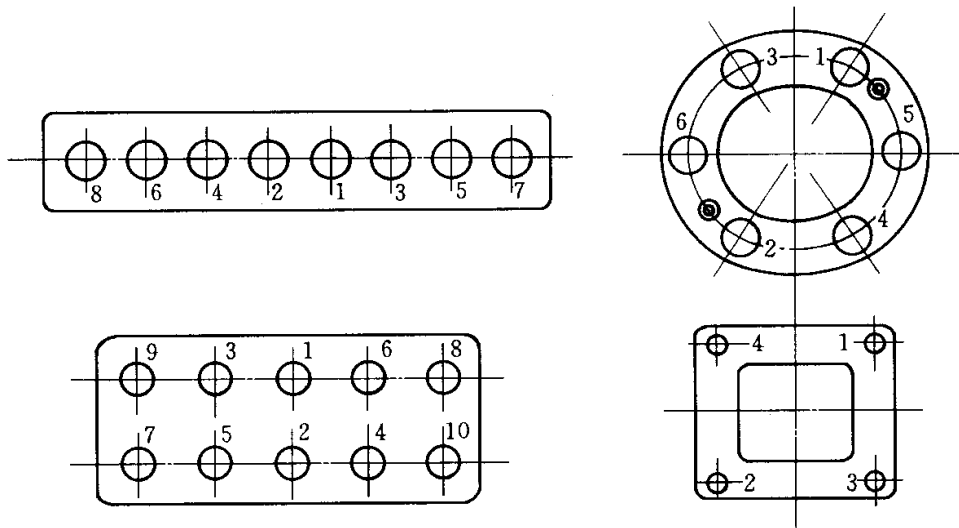


图 9—9 螺母拧紧顺序示例

螺纹连接可分为一般紧固螺纹连接和规定预紧力的螺纹连接。前者无预紧力要求，可采用普通扳手、风动或电动扳手拧紧螺母；后者有预紧力要求，可采用定力矩扳手等方法拧紧螺母。

### 二、过盈连接

过盈连接一般属于不可拆的固定连接；近年来由于液压套合法的应用，其可拆性日益增加。连接前，零件应清洗洁净，检查有关尺寸公差，必要时测出实际过盈量，分组选配。

过盈连接主要有压入配合法、热胀配合法、冷缩配合法。

压入配合法，通常采用冲击压入，即用手锤或重物冲击；或工具压入，即用压力机压入，即采用螺旋式、杠杆、气动或液压机压入。

热胀配合法，通常采用火焰、介质、电阻或感应等加热方法将包容件加热再自由套入被包容零件中。

冷缩配合法，通常采用干冰、低温箱、液氮等冷缩方法将包容件冷缩再自由装入被包容零件中。

### 三、轴承装配

#### 1. 滑动轴承装配

### (1) 整体式滑动轴承的装配步骤

- ①去除轴承和轴承座的毛刺并清洗擦干，然后在轴承外径及轴承座孔内涂机油。
- ②轴套压入。当轴套的尺寸和过盈量都较小时，可用手锤敲入；当尺寸和过盈量都较大时，宜采用压力压入或用夹具压入，见图 9—10。若轴套上有油孔，压入时应与机体上油孔对正。
- ③轴承的固定。对于负荷较大的滑动轴承，压入后需用定位销或紧定螺钉固定。
- ④轴承修整。对于壁厚较小轴承，压入后内孔易变形，故采用铰削或刮削等方法，对轴承孔进行修整。

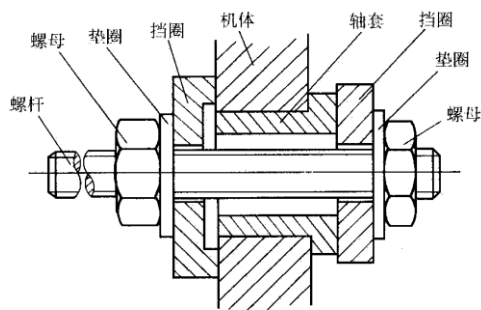


图 9—10 压轴套用拉紧工具

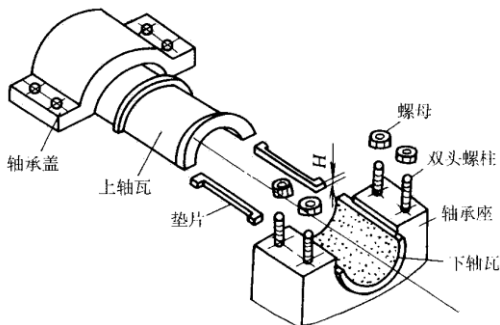


图 9—11 剖分式滑动轴承

(2) 剖分式滑动轴承的装配 剖分式滑动轴承的结构如图 9—11 所示，其装配步骤如下：

- ①轴瓦与轴承座、盖的装配 装配时，应使轴瓦与座孔有良好的接触，对于厚壁轴瓦，可以座孔为基准，刮削轴瓦背部，若轴瓦带有台肩，其台肩应紧靠座孔的两端，达到 H7 / f7 配合。对于薄壁轴瓦，在批量较大时，可采用选配的方法满足装配要求。
- ②轴瓦定位 大批生产时，用轴瓦和轴承座、轴承盖上加工好的定位结构实现定位。小批生产时，一般用定位销实现定位。
- ③刮削轴瓦孔 一般先刮下瓦再刮上瓦。
- ④轴瓦清洗干净，重新装入。

### 2. 滚动轴承的装配

滚动轴承的装配方法主要取决于轴承结构、尺寸及相配件的配合性质。

- ①装配时的压力应直接作用在待配合的套圈上，绝不允许轴承的滚动体传递压力；
- ②轴承标记应装在可见部位，便于更换；
- ③装配时应注意零件的清洗及清洁；
- ④装配后应运转灵活，无噪声，常温条件下工作温升在 50℃ 以内。

#### (1) 圆柱孔轴承装配

①当轴承与轴的配合较紧而与座孔的配合较松时，应先将轴承装在轴上，压装时在轴承端面上垫软钢或铜套(见图 9—12a)，然后再装入座孔内；反之应先将轴承压在座孔内(见图 9—12b)。

②当轴承与轴和座孔均是紧配合时，应同时将轴承压入轴上和座孔中，如 9—12c

所示。

③圆锥滚子轴承装配时，由于内外圈可分离，可分别将内外圈压入轴端和座孔中，然后再调整其间隙，如图 9—13 所示。压入方法可根据过盈量的大小来决定是采用锤击法、压力机压入或温差法等。

(2)圆锥孔轴承的装配圆锥孔轴承可直接装在有锥度的轴颈上，或装在锥套的锥面上，装配中应注意调整轴承的径向间隙，如图 9—14 所示。

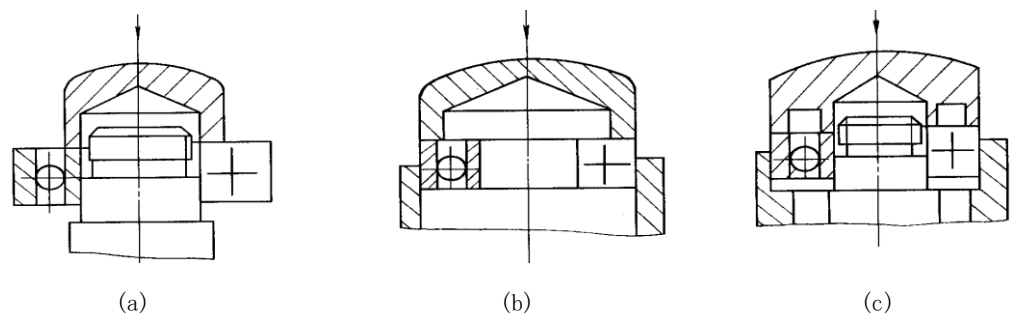


图 9—12 用压力法安装圆柱孔轴承

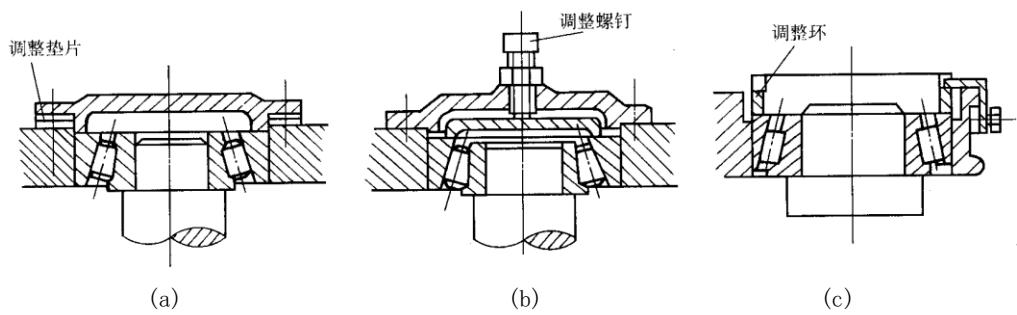


图 9—13 圆锥滚子轴承游隙的调整

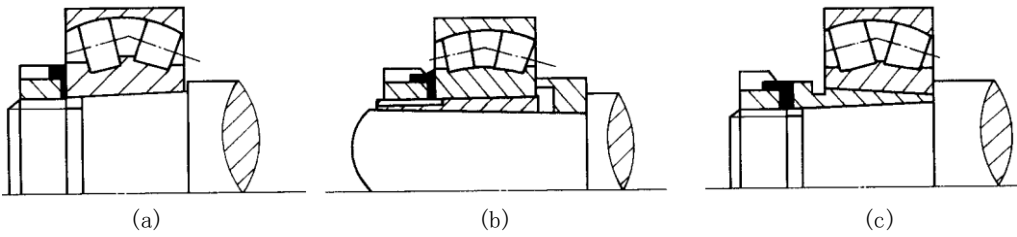


图 9—14 圆锥孔轴承的安装

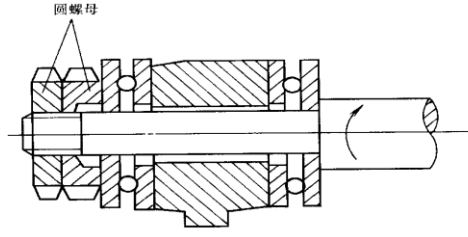


图 9—15 推力球轴承的装配和调整

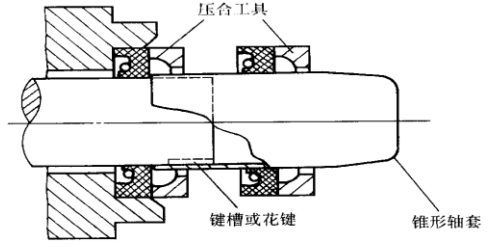


图 9—16 锥形轴套导向

(3) 推力球轴承的装配 推力球轴承的装配，关键是区分紧环和松环。松环的内孔比紧环内孔大，紧环与轴一起转动，松环相对静止。如图 9—15 所示，右端轴承的紧环应靠在轴肩上，左端轴承的紧环靠在圆螺母端面上与轴一起转动，否则滚动体失去作用，加速磨损，轴承的间隙用圆螺母调整。

#### **四、密封件装配**

##### **1. 油封装配**

油封广泛用于低压润滑系统和旋转密封结构中。安装时注意保持合适的过盈量，过小会降低密封性能，过大会降低油封使用寿命。安装时要注意以下几点：

(1) 唇口方向不能错，否则形成不了密封。

(2) 不能损伤唇口，当轴上倒角很小或有键槽时，可使用锥形轴套导向，如图 9—16 所示。

(3) 油封装配定位后，不得随轴转动。

(4) 轴上安装油封处的表面要光洁，且此处轴线倾角不应大于  $2^\circ$ 。

##### **2. 成形填料密封装配**

成形填料密封一般是靠内部的流体压力将填料压向活动的轴和填料室实现密封的。常用的成型填料有唇形型和挤压型。唇形型主要有 U 形环和 V 形环，挤压型主要是 O 形环。唇形填料的装配要注意唇口的方向性，O 型环的装配，要防止划伤。